

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

INSTITUT DOPRAVY

Hodnocení spolehlivosti vzduchové pružicí soustavy autobusů

Assessment of the Bus Air Suspension Systems Reliability

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Diplomant: Bc. Břetislav Zajíček

Datum odevzdání: 21. 5. 2012

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Břetislav Zajíček

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace:

20 Silniční doprava

Téma:

Posouzení spolehlivosti vzduchové pružicí soustavy autobusů
Assessment of the Bus Air Suspension Systems Reliability

Zásady pro vypracování:

Postup řešení:

1. Úvod
2. Analýza struktury vzduchové pružicí soustavy a hledisky (volících prvků)
3. Výpočetní metody používané pro hodnocení spolehlivosti
4. Stanovení charakteristik spolehlivosti s využitím experimentálních dat
5. Technicko - ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

- Famfulík, J.: Zkoušky spolehlivosti (vybrané stochastické metody). Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2010.
Famfulík, J.: Teorie údržby. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8
Duník, A.: Výpočetní metody obnovy dopravních prostředků. Ostrava: Repronis Ostrava, 1999.
ISBN 80-86122-41-7
ČSN IEC 61650: 1998. Techniky analýzy dat o bezporuchovosti
Požadavky provozovatele autobusů

Formální slednosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Ing. Vladimír Smrč, Ph.D.
vedoucí katedry

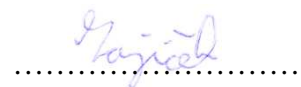


prof. Ing. Radim Farma, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2012

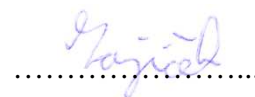


Podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠBTUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB–TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu s jejich strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2012



Podpis studenta

Břetislav Zajíček

Brníčko č.1

78975

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZAJÍČEK, B. Hodnocení spolehlivosti vzduchové pružící soustavy autobusů: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 78s. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Diplomová práce se zabývá hodnocením spolehlivosti vzduchové pružící soustavy autobusů. V úvodu je popsáno co je to spolehlivost a z jakých částí se skládá. Dále jsou představeny hodnocené vzduchové pružící soustavy z hlediska tvořících prvků. Následně jsou uvedeny matematické metody používané k hodnocení spolehlivosti a na základě těchto metod jsou vypočítány charakteristiky spolehlivosti jednotlivých tvořících prvků a soustav. V závěru jsou tyto charakteristiky spolehlivosti vzduchových pružících soustav autobusů porovnány.

ANOTATION OF MASTER THESIS

ZAJÍČEK, B. Assessment of the Bus Air Suspension Systems Reliability: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2012, 78 p. Supervisor: Famfulík, J.

My thesis is deal with evaluation of reliability air suspension buses system. In the introduction is described what is it reliability and what parts it is composed. Also there are presented rated air suspension system in terms of constituting elements. Subsequently are there described mathematical methods which are used to reliability of evaluation. And this mathematical methods are basises of calculating the characteristics of reliability of individual components and systems forming. At the end are compared characteristics of suspennsion system of buses.

Obsah

Seznam použitých značek	8
1. Úvod	9
2. Analýza struktury vzduchové pružicí soustavy z hlediska tvořících prvků	13
2.1 Vzduchová pružicí soustava autobusu Karosa B952	14
2.1.1 Vzduchová vlnovcová pružina	15
2.1.2 Regulační ventil pérování	16
2.1.3 Vzduchové vedení	18
2.1.4 Vzduchová spojka	18
2.2 Vzduchová pružicí soustava autobusu Solaris Urbino 12	19
2.2.1 Řídící ventil ECAS	20
2.2.2 Vzduchový vak	21
2.2.3 Snímač výšky pérování	22
2.2.4 Vzduchové vedení	22
2.2.5 Vzduchová spojka	23
3. Výpočetní metody používané pro hodnocení spolehlivosti	23
3.1 Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti	23
3.2 Zkoušky spolehlivosti	25
3.2.1 Dělení zkoušek spolehlivosti	26
3.3 Určující zkoušky spolehlivosti	26
3.3.1 Bodový odhad parametrů spolehlivosti	27
3.4.1 Zkušební plány	29
3.4.2 Zkrácené zkoušky	32
3.5.1 Výpočet pohotovosti	33
4. Stanovení charakteristik spolehlivosti s využitím experimentálních dat	34
4.1 Stanovení charakteristik vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952	34
4.1.1 Odhad parametrů W2P	34
4.1.2 Kolmogorovův – Smirnovův test pro 1 výběr	37

4.1.3 Výpočet střední doby do poruchy T_s	39
4.1.4 Výpočet intenzity poruch λ	40
4.1.5 Výpočet distribuční funkce $F(t)$	41
4.1.6 Analýza stromu poruchových stavů vzduchového pružícího systému autobusu Karosa B952.	42
4.1.7 Udržovatelnost.....	50
4.1.8 Logistické zpoždění.....	51
4.1.9 Pohotovost	51
4.2 Stanovení charakteristik vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12...	51
4.2.1 Odhad parametrů $W2P$	51
4.2.2 Kolmogorovův – Smirnovův test pro 1 výběr	52
4.2.3 Výpočet střední doby mezi poruchami T_s	53
4.2.4 Výpočet intenzity poruch λ	55
4.2.5 Výpočet distribuční funkce $F(t)$	56
4.2.6 Analýza stromu poruchových stavů vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12.	58
4.2.7 Udržovatelnost.....	61
4.2.8 Logistické zpoždění.....	62
4.2.9 Pohotovost	62
5. Technicko – ekonomické zhodnocení	63
Seznam použité literatury	65
Seznam příloh	66

Seznam použitých značek

$f(t)$ hustota pravděpodobnosti

$F(t)$ distribuční funkce

$R(t)$ bezporuchovost

Γ gama funkce

W2P dvouparametrické Weibullovo rozdělení

m parametr tvaru

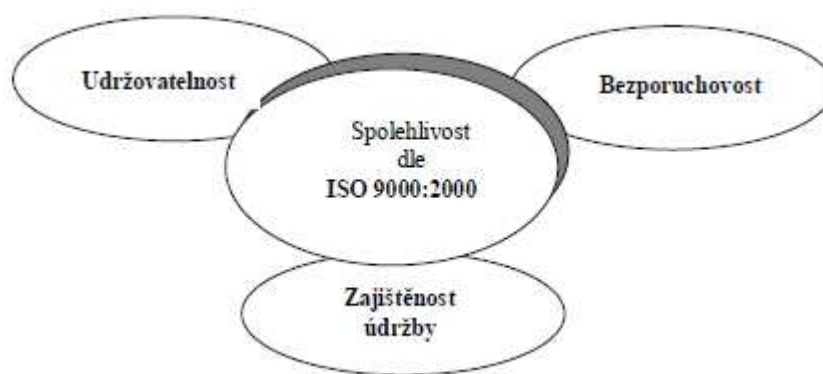
t_0 parametr měřítka

MTBF střední doba provozu

MTBR střední doba údržby

1. Úvod

Údržba je jedním z rozhodujících faktorů, které ovlivňují spolehlivost zařízení. Spolehlivost je souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti. Pro výslednou spolehlivost objektu je důležité, zda během jeho provozu je prováděna obnova bezporuchového stavu nebo ne. Podle toho se rozlišují objekty obnovované a neobnovované.



Obr. č.1.1: Širší pojetí spolehlivosti [3]

Spolehlivost se dělí na:

Bezporuchovost

Bezporuchovost je schopnost objektu, plnit nepřetržitě požadované funkce za stanovených podmínek po stanovenou dobu.

Ukazatele:

- pravděpodobnost bezporuchového provozu – vyjadřuje pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci v daném čase a podmínkách
- intenzita poruch – přírůstek porouchaných výrobků v malém časovém intervalu k počtu zatím neporouchaných výrobků
- střední intenzita poruch – střední hodnota okamžité intenzity poruch v daném časovém intervalu
- střední doba do poruchy – vyjadřuje očekávanou dobu do poruchy
- střední doba provozu mezi poruchami – očekávaná doba provozu mezi poruchami

Udržovatelnost

Udržovatelnost je schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci tehdy, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy i prostředky.

Ukazatele:

- intenzita opravy
- střední intenzita opravy – střední hodnota okamžité intenzity opravy v daném časovém intervalu
- střední doba do obnovy – očekávaná doba do obnovy
- pravděpodobnost doby aktivní údržby – pravděpodobnost, že daný údržbářský zásah může být proveden během stanoveného časového intervalu, jestliže se údržba provádí za stanovených podmínek s použitím stanovených postupů a prostředků
- střední doba opravy – očekávaná doba opravy
- střední pracnost údržby – očekávaná pracnost údržby vyjádřená v normohodinách
- podíl zjistitelných poruchových stavů – podíl poruchových stavů objektu, které mohou být v daných podmínkách zjištěny
- podíl proveditelných oprav – podíl poruchových stavů objektů, které mohou být úspěšně odstraněny opravou

Zajištěnost údržby

Zajištěnost údržby je schopnost organizace, která poskytuje údržbářské práce, zajišťovat dle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí.

Ukazatele:

- střední administrativní zpoždění – očekávané administrativní zpoždění
- střední logistické zpoždění – očekávané logistické zpoždění

Klasifikace poruch dle charakteru jejich vzniku

Postupné poruchy

Postupné poruchy vznikají důsledkem degradačního procesu. Při této poruše dochází ke zhoršení počátečních vlastností prvku. Typické pro tento typ poruchy je závislost pravděpodobnosti vzniku poruchy na čase. Z toho vyplývá, že čím déle prvek pracuje, tím se zvyšuje pravděpodobnost poruchy.

Postupné poruchy se projevují takřka u většiny součástí vozidel. Tyto poruchy jsou nejčastěji spojené s korozí, únavou materiálu, opotřebením a křehnutím plastů. Vznik poruch je možné identifikovat využitím preventivních údržbových systémů a diagnostiky.

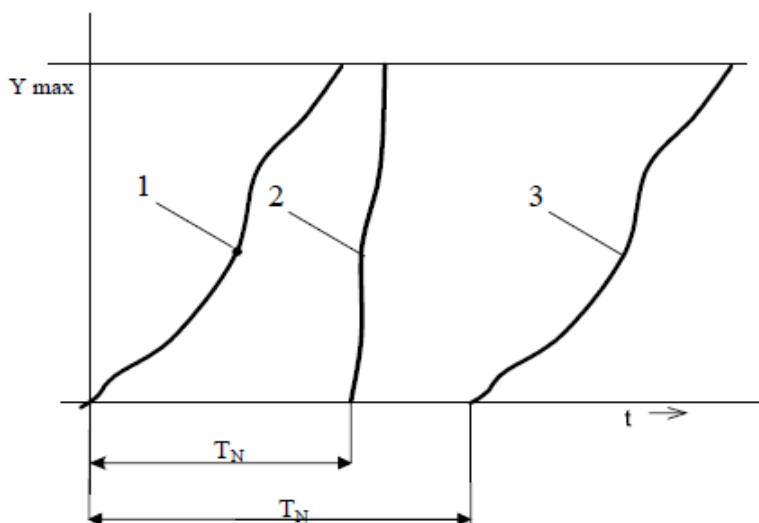
Náhlé poruchy

Náhlé poruchy vznikají jako důsledek vlivu vnějšího působení na součást, které překračuje konstrukční možnosti prvku. Příčiny těchto poruch jsou nejčastěji konstrukční nebo materiálové vady. Preventivní systémy údržby jsou při identifikaci poruchy neúčinné.

Charakteristickým znakem této poruchy je nezávislost pravděpodobnosti jejího vzniku na době práce. Řídí se náhodným rozdělením vnějších působení.

Kombinované poruchy

Kombinované poruchy zahrnují principy náhlé i postupné poruchy. Vznik degradačního procesu má původ ve vnějším působení a rychlost degradace odpovídá vzniku postupné poruchy.



Obr. č.1.2: Průběhy poruch: 1 postupná, 2 náhlá, 3 kombinovaná [1]

Obnova

Obnova je souhrn činností, které vedou k udržení, nebo navrácení do provozuschopného stavu.

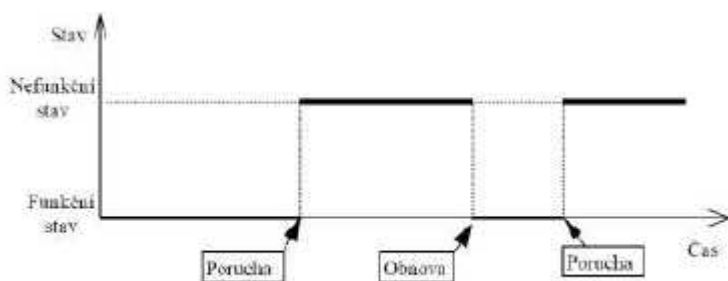
Procesy obnovy:

- Proces s okamžitou obnovou

Je to proces, kdy je doba obnovy zanedbatelná k době bezporuchového stavu. To znamená, že prvek je po poruše okamžitě nahrazen jeho zálohou.

- Proces s konečnou dobou obnovy

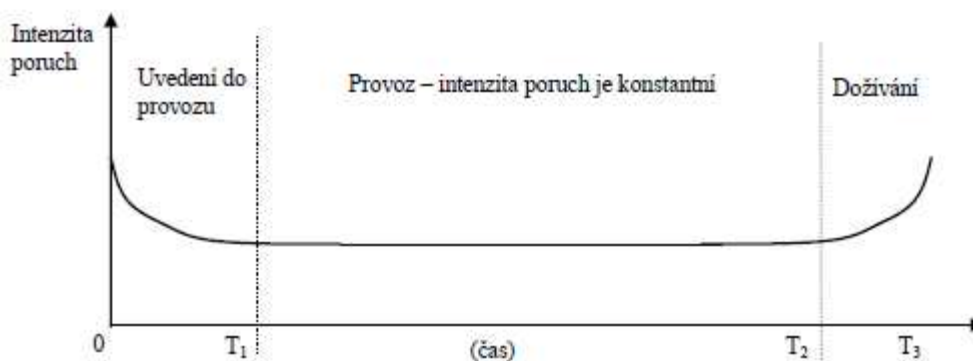
Dochází ke střídání procesu provozu a obnovy. Doba provozu i doba obnovy je náhodná.



Obr. č. 1.3: Průběh provozu vozidla [4]

Vanová křivka

Intenzita poruch se mění v souvislosti s provozem. Vanová křivka znázorňuje dobu života vozidla. Jak je vidět z obrázku 1.4, lze dobu života vozidla rozdělit do třech kategorií:



Obr. č. 1.4: Vanová křivka [1]

– **Záběh**

Je to období častých poruch $\langle 0, T_1 \rangle$. V tomto období se projevují chyby výrobku vzniklé při konstrukci a výrobě. Intenzita těchto poruch s časem klesá, až se výrobek dostane do fáze provozu.

– **Provoz**

Provoz je období normálního života výrobku $\langle T_1, T_2 \rangle$. Tato fáze je nejdelší v životě výrobku a využívá se zde inherentní spolehlivosti výrobku. Intenzita poruch se ustálí na takřka konstantní hodnotě.

– **Dožívání**

Je to období dožívání výrobku $\langle T_2, T_3 \rangle$. Z důvodu rostoucí intenzity poruch se výrobek vyřazuje z provozu.

2. Analýza struktury vzduchové pružicí soustavy z hlediska tvořících prvků

Vzduchová pružicí soustava tvoří pružné spojení mezi nápravou a rámem vozidla, popřípadě karoserií nebo nástavbou. Pérování má za úkol společně s tlumením zachycovat rázy od vozovky.

Vzduchová pružicí soustava slouží ke zmírnění rázů a otřesů karoserie od nerovností na vozovce, ke zmenšení namáhání rámu a k udržení všech kol ve stálém styku s vozovkou.

Vzduchová pružicí soustava pracuje na principu uzavření vzduchu v pružicím prvku, buď ve vlnovcové pneumatické pružině, nebo v pružinovém vaku.

Srovnání vzduchové pružicí soustavy jsem prováděl na dvou typech autobusů a to na autobusu Karosa B 952 a Solaris Urbino 12.

2.1 Vzduchová pružicí soustava autobusu Karosa B952



Obr. č. 2.1: Autobus Karosa B952 [5]

Základní technické údaje:

Délka: 11 320 mm

Šířka: 2 500 mm

Výška: 3 165 mm

Rozvor náprav: 5 600 mm

Celková hmotnost: 17 800 kg

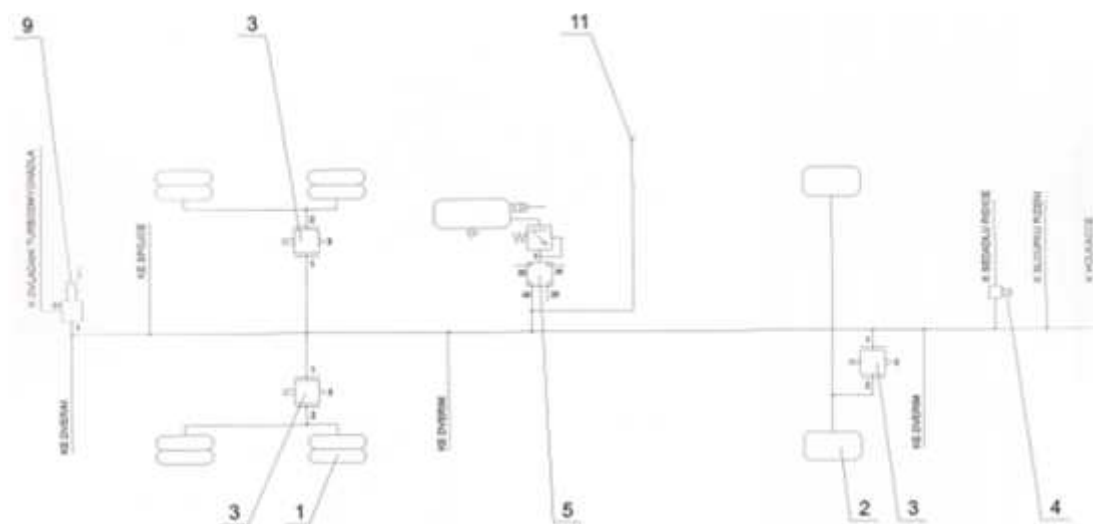
Počet míst k sezení/stání: 31/68

Výška podlahy: 790/890 mm

Max. rychlost: 88 km/hod

Vzduchová pružicí soustava autobusu Karosa B 952 je tvořena:

- šesti vlnovcovými pneumatickými pružinami
- třemi regulačními ventily pérování
- šesti vzduchovými spojkami
- vzduchovým vedením



Obr. č. 2.2: Schéma vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B 952 [6] 1. vzduchová vlnovcová pružina, 3. Regulační ventil pérování

2.1.1 Vzduchová vlnovcová pružina

Vzduchová vlnovcová pružina se skládá z pryžotextilního vlnovce a výztužných ocelových kruhů. Vlnovcová pružina je uzavřena přírubami, které jsou přizpůsobeny k upevnění k odpružené a neodpružené části vozidla. Tyto příruby musí být souosé. V jedné z přírub je rovněž hrdlo pro přívod vzduchu.

Vlnovcová pružina nesmí přijít do styku s oleji, benzínem, naftou apod. Okolo vlnovcové pružiny musí být dostatečně velký prostor, aby při provozu nedošlo k prodření.



Obr. č. 2.3: Vzduchová vlnovcová pružina [6]

Závady:

- Prodření a prasknutí vlnovcové pružiny

Při prodření vlnovcové pružiny dochází k úniku vzduchu ze systému. To znamená, že vlnovcová pružina nemůže plnit svoji funkci a vozidlo klesne na doraz, který je zabudován ve vlnovcové pružině. Lze tedy pomalou jízdou dojet do opraven.

Vzduchová vlnovcová pružina se neopravuje, ale mění za novou.

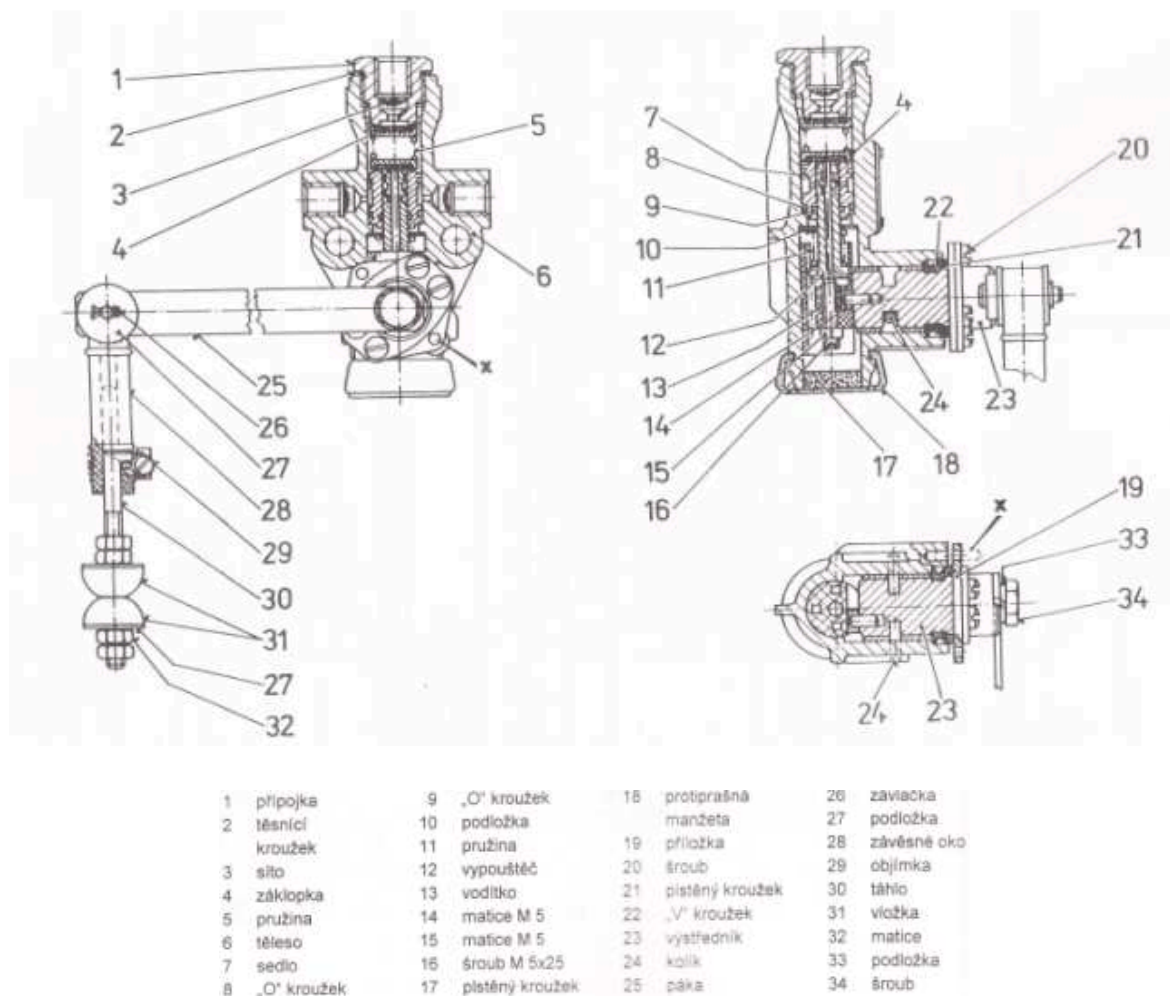
2.1.2 Regulační ventil pérování

Regulační ventil pérování udržuje konstantní výšku pružiny autobusu bez ohledu na její statické zatížení. Tímto je zajištěna stejná výška karoserie.

Regulační ventil se uvádí v činnost, nastane – li změna statického zatížení příslušné části autobusu, nebo dynamickým vlivem během jízdy. Při zvýšení zatížení se zvedne páka (25) a přes jednotlivé mechanismy se otevře záklopka (4). Tím je umožněno tlakovému vzduchu proudit do vlnovcové pružiny a nastane změna její délky. Rovnovážná poloha nastane, když záklopka (4) uzavírá současně vypouštěcí otvor (12) a sedlo (7).

Při odlehčení vozidla se oddálí vypouštěč (12) od záklopky (4). Tím se odkryje odvzdušňovací otvor a vzduch se začne z vlnovcové pružiny vypouštět, až pružina klesne na nastavenou délku.

U tohoto typu soustavy řídí jeden ventil vzduchové vlnovcové pružiny předních kol současně a vzduchové vlnovcové pružiny zadních kol řídí ventily dva. Jeden řídí pružiny na levé a druhý pružiny na pravé straně zadní nápravy.



Obr. č. 2.4: Regulační ventil pérování [6]

Závady:

- Zadření regulačního ventilu pérování

Jelikož je tento ventil umístěn v podvozkové části vozidla, vzniká značné namáhání působením prachu, nečistot a posypové soli. Tato závada vzniká nejčastěji z důvodu poškození prachovky kdy zmíněné nečistoty a sůl pronikají do ventilu a způsobují jeho zadření.

Při detekci závady na regulačním ventilu se ventil neopravuje, ale vyměnění za nový.

2.1.3 Vzduchové vedení

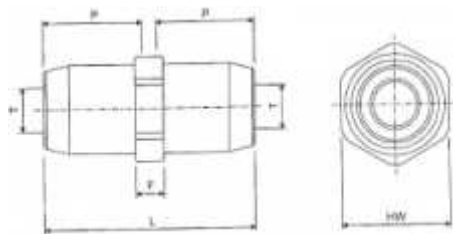
Vzduchové vedení vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952 je z polyamidu. Pružnost tohoto materiálu dovoluje montáž těchto trubek v celé potřebné délce bez spojů. Tyto trubky jsou v rámu vozidla upevněny na speciálních držácích z plastické hmoty, které umožňují posuv při dilataci. Mimo rám vozidla se trubky přichycují speciálními příchytkami nasazenými na trubku.

Trubky nesmějí být vedeny v blízkosti dílů, které nadměrně vyzařují teplo. Trubky rovněž nesmějí třít o rám, jiné předměty ani vzájemně o sebe.

Závada:

- Porušení celistvosti trubky

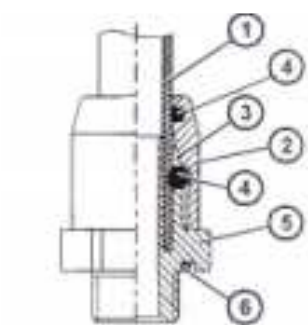
Tato závada vzniká nejčastěji prodřením nebo proklepáním trubky v držácích, případně mechanickým poškozením způsobeným odlétávajícím kamením z vozovky. Odstranění této závady probíhá u krátkých trubek výměnou celé trubky. U delších se vyřízne v blízkosti pevných příchytok potrubí z rámu a napojí se přes spojky nový kus. U pevných příchytok se to dělá proto, aby spojky neprověšovaly potrubí.



Obr. č. 2.5: Opravárenská sada rychlospojek pro porušené polyamidové trubky [6]

2.1.4 Vzduchová spojka

Vzduchová spojka spojuje vzduchové potrubí s komponenty vzduchové pružící soustavy. Při montáži spojek může dojít k nesprávnému zařiznutí čela vzduchové trubky, což má za následek únik vzduchu, který se nemusí projevit ihned po montáži. Dále může dojít k poškození těsnících kroužků což rovněž vede k úniku vzduchu.



Obr. č. 2.6: Vzduchová spojka [6]

1 – trubka, 2 – matice, 3 – zářezný kroužek, 4 - o-kroužek, 5 – těleso spojky, 6 - o-kroužek

2.2 Vzduchová pružící soustava autobusu Solaris Urbino 12



Obr. č. 2.7: Autobus Solaris Urbino 12 [5]

Základní technické údaje:

Délka: 12 000 mm

Šířka: 2 550 mm

Výška: 2 850 mm

Rozvor náprav: 5 900 mm

Celková hmotnost: 18 000 kg

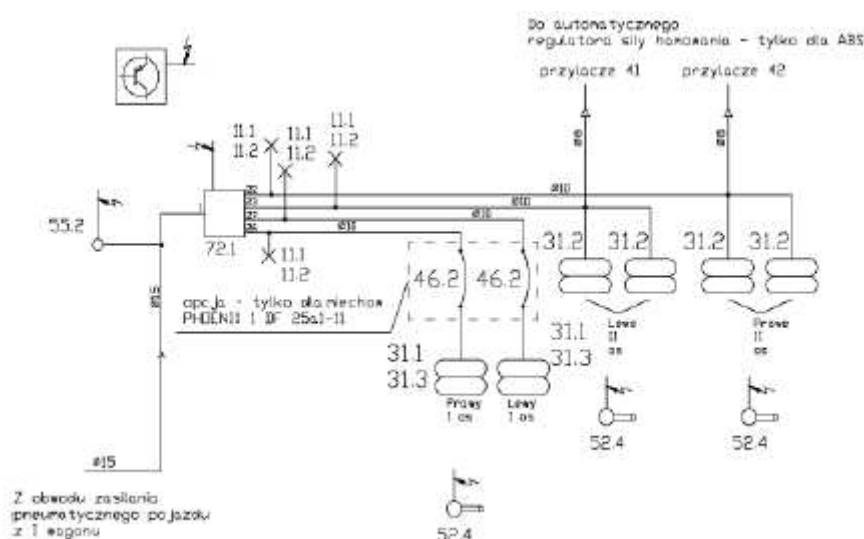
Počet míst k sezení/stání: 29 - 33/72 - 76

Minimální výška podlahy: 320 mm

Max. rychlost: 70 km/hod

Vzduchová pružící soustava autobusu Solaris Urbino 12 je tvořena:

- jedním řídicím ventilem ECAS
- šesti vzduchovými měchy
- třemi snímači výšky
- šesti vzduchovými spojkami
- vzduchovým vedením



L.p.	Název
11.1	Kontrolní přípojka M12x1,5
55.2	Přepínač tlaku sepnutý pro $p < 8,0 + -0,6$ bar
72.1	Blok ventilů ECAS I. článek
72.2	Blok ventilů ECAS II. článek
31.1	Kompletní měch 1. náprava
31.2	Kompletní měch 2. a 3. náprava
46.2	Vzduchová hadice 450
52.4	Snímač výšky ECAS CAN2

Obr. č. 2.8: Schéma vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12 [6]

2.2.1 Řídicí ventil ECAS

Řídicí ventil ECAS je hlavním řídicím prvkem vzduchového vypružení. Tento ventil sbírá hodnoty ze snímačů výšky a následně napouští nebo vypouští vzduch z vaků. Kontrolní perioda je nastavena na 30 s.

Řídicí ventil ECAS se po poruše neopravuje, ale mění se za nový.



Obr. č. 2.9: Řídící ventil ECAS [6]

2.2.2 Vzduchový vak

Je tvořen přírubami, které jsou spojeny gumotextilií. Příruby jsou souose namontovány na odpruženou a neodpruženou část vozidla. V horní přírubě je otvor, kterým se napouští, popřípadě vypouští vzduch z vaku.

Vzduchový vak nesmí přijít do styku s oleji, benzínem, naftou apod. Okolo vzduchového vaku musí být dostatečně velký prostor, aby při provozu nedošlo k prodření.



Obr. č. 2.10: Vzduchový vak [6]

Závady:

- Prodření a prasknutí vzduchového vaku

Při prodření vlnovcové pružiny dochází k úniku vzduchu ze systému. To znamená, že vzduchový vak nemůže plnit svoji funkci a vozidlo klesne na doraz, který je zabudován ve vzduchovém vaku. Lze tedy pomalou jízdou dojet do opraven.

Vzduchový vak se neopravuje, ale mění za nový.

2.2.3 Snímač výšky pérování

Snímač výšky pérování snímá aktuální výšku vozidla od vozovky. V 30 – ti sekundové periodě dává signál o výšce ventilu ECAS, který na základě tohoto signálu upraví nastavenou výšku vozidla (přední a prostřední dveře 320 mm, zadní dveře 340 mm) napuštěním nebo vypuštěním vzduchu do vaku.



Obr. č. 2.11: Snímač výšky pérování [6]

Závady:

- Mechanické poškození táhel

Při mechanickém poškození táhel se snímač mění za nový

- Porucha potenciometru

Protože je snímač výšky umístěn v podvozkové části autobusu, dochází k působení nečistot a posypové soli na snímač, kde tyto nečistoty negativně působí na jezdec a desku potenciometru.

Pokud snímač neplní svoji funkci, není opravován, ale vyměněn za nový.

2.2.4 Vzduchové vedení

Vzduchové vedení autobusu Solaris Urbino 12 má téměř totožnou konstrukci jako u autobusu Karosa B952. Poruchy na vzduchovém vedení jsou ve svém principu totožné.

2.2.5 Vzduchová spojka

Vzduchová spojka autobusu Solaris Urbino 12 má téměř totožnou konstrukci jako u autobusu Karosa B952. Poruchy vzduchové spojky jsou ve svém principu totožné.

3. Výpočetní metody používané pro hodnocení spolehlivosti

3.1 Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti

Toto rozdělení pravděpodobnosti se ve spolehlivosti používá k modelování průběhu náhodné veličiny. Pro svoji variabilnost se používá k posuzování bezporuchovosti technických objektů. Variabilnost spočívá v tom, že změnou parametru tvaru nahrazuje jiné zákony rozdělení pravděpodobnosti. Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti se označuje W3p.

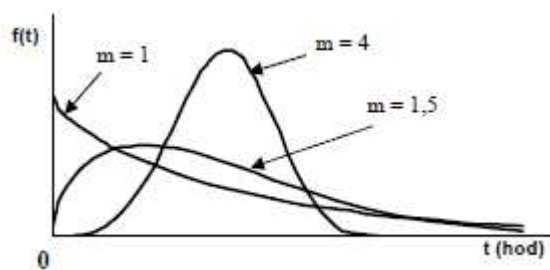
Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti je charakterizováno třemi parametry:

- m – parametr tvaru
- t_0 – parametr měřítka
- c – parametr polohy

Z praktického hlediska se z důvodu zjednodušení výpočtů parametr polohy c položil rovno nule. Vzniklo tedy dvouparametrické Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti označované jako W2p.

Hustota pravděpodobnosti

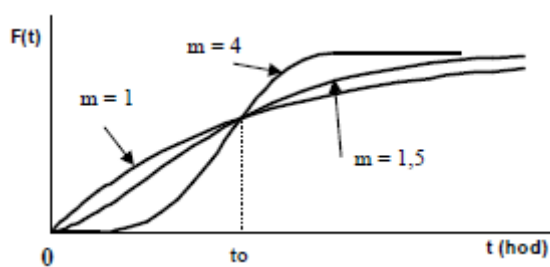
$$f(t) = \frac{m}{t_0} * \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} * e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3. 1)$$



Obr. č. 3.1: Průběh hustoty pravděpodobnosti Weibullova rozdělení s různými parametry tvaru m [1]

Distribuční funkce $F(t)$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.2)$$



Obr. č. 3.2: Průběh distribuční funkce Weibullova rozdělení s různými parametry tvaru m [1]

Bezporuchovost $R(t)$

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m}\right)$$

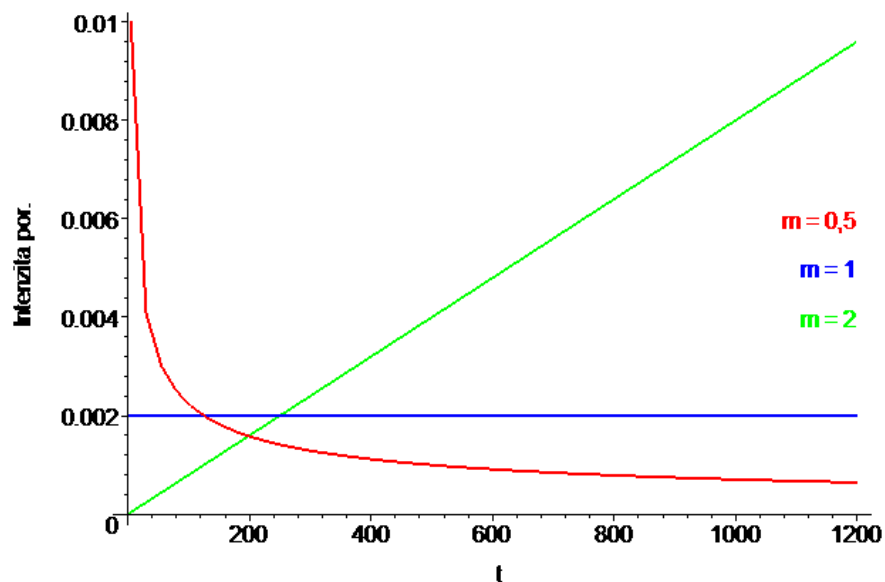
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.3)$$

Střední doba do poruchy T_s

$$T_s = t_0 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3.4)$$

Intenzita poruch λ

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} * \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \quad (3.5)$$



Obr. č. 3.3: Průběh intenzity poruch Weibullova rozdělení s různými parametry tvaru m
[7]

Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti aproximuje s:

- exponenciálním rozdělením pravděpodobnosti pokud parametr $m = 1$
- Rayleighova rozdělením pravděpodobnosti pokud parametr $m = 2$
- Normálním rozdělením pravděpodobnosti pokud parametr $m = 3,5$

3.2 Zkoušky spolehlivosti

Jsou to experimentální metody sloužící k určení nebo ověření ukazatelů spolehlivosti, což jsou parametry rozdělení náhodné veličiny. Tyto zkoušky mají velký význam, protože se jimi ověřuje, zda byly požadavky na spolehlivost určené v raných etapách života výrobku splněny, nebo jaké úrovně spolehlivosti výrobku bylo dosaženo.

3.2.1 Dělení zkoušek spolehlivosti

Z hlediska cíle:

- ověřovací
- určovací

Podle zaměření:

- zkoušky bezporuchovosti
- zkoušky udržovatelnosti
- zkoušky pohotovosti
- zkoušky životnosti

Podle způsobu provádění zkoušek:

- stendové
- provozní zkoušky

Podle namáhání a časového průběhu:

- normální zkoušky – jsou realizovány v normálních podmínkách
- zkrácené zkoušky – jsou to takové zkoušky, které končí dříve, než dojde k poruše všech zkoušených objektů
- zrychlené zkoušky – jsou to zkoušky, které se provádí ve zvláštních podmínkách za účelem získání požadovaných informací v kratší době. V těchto zkouškách se využívá zvýšené zatížení a nepříznivé podmínky okolního prostředí během trvání zkoušky. Těmito procesy se vyvolávají náhlé nebo degradační procesy.

3.3 Určující zkoušky spolehlivosti

Určující zkoušky spolehlivosti se využívají k experimentálnímu stanovení parametrů bezporuchovosti, udržovatelnosti a pohotovosti technických systémů a zařízení. Na základě experimentálně zjištěných dat je prováděn odhad parametrů spolehlivosti a jejich následné zobecnění pro celou populaci výrobků.

3.3.1 Bodový odhad parametrů spolehlivosti

Tento odhad představuje jedinou číselnou hodnotu parametrů spolehlivosti. Bodový odhad vychází z konkrétních, experimentálně zjištěných dat náhodného výběru. S rostoucím rozsahem výběru se zvyšuje přesnost této metody.

Odhad parametrů spolehlivosti metodou lineární regrese

Je to metoda, při níž se využívá proložení empiricky zjištěných dat přímkou metodou nejmenších čtverců. Vycházíme z předpokladu, že souborem dat je proložena přímka tak, aby součet druhých mocnin vzdáleností mezi body a přímkou byl minimální. Tato metoda se využívá pro rozdělení, jejíž distribuční funkce se snadno linearizuje. Postup je popsán pro Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti, které se používá nejčastěji pro strojní součásti.

Postup:

- úprava distribuční funkce $F(t)$ a následná substituce rovnicí přímky
- stanovení parametrů rovnice přímky proložením empirických dat metodou nejmenších čtverců
- odhad parametrů dvouparametrického Weibullova rozdělení pravděpodobnosti W2P metodou zpětné transformace

Úprava distribuční funkce

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right]$$

$$1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right]$$

$$\ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{t_0}\right)^m$$

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = m * \ln(t) - m * \ln(t_0)$$

Provedeme srovnání s rovnicí přímky

$$y = k * x + q$$

Po zavedení substituce získáme:

$$y = \ln(-\ln(1 - F(t)))$$

$$k * x = m * \ln(t)$$

$$q = -m * \ln(t_0)$$

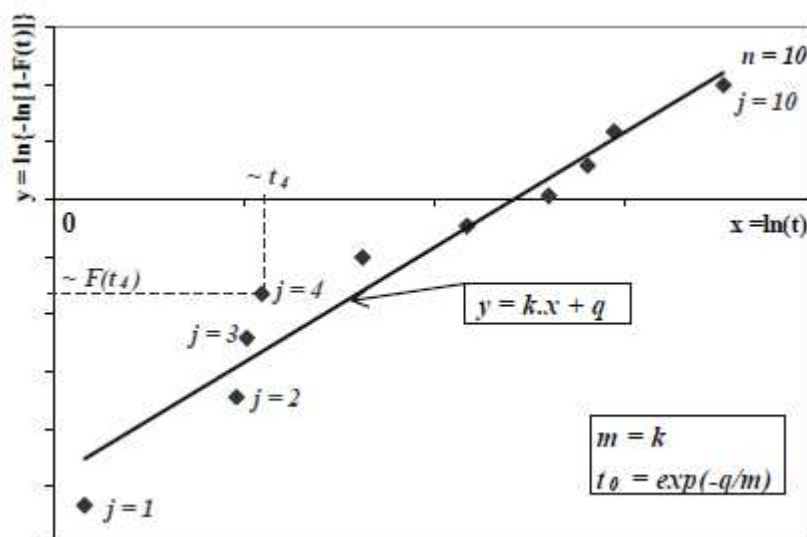
Stanovení parametrů rovnice přímky

Uspořádáme empirická data od nejmenšího po největší. Přiřadíme těmto datům pořadové číslo, kdy nejmenší bude mít pořadové číslo 1 a největší bude mít pořadové číslo n . Pořadová čísla potřebujeme k odhadu mediánového pořadí $F_i(m)$.

Odhad mediánového pořadí $F_i(m)$.

Výpočet mediánového pořadí

$$F_i(m) = \frac{n_i - 0,3}{n + 0,4} \quad (3.6)$$



Obr. č. 3.4: Bodový odhad Weibullova rozdělení

Z předešlých vztahů vyplývá, že směrnice přímky k odpovídá hodnotě parametru $W2p$ rozdělení m .

Parametr měřítka t_0 získáme úpravou vztahu:

$$q = -m * \ln(t_0)$$

$$\ln(t_0) = -\frac{q}{m}$$

$$t_0 = \exp\left(-\frac{q}{m}\right) \quad (3.7)$$

3.4.1 Zkušební plány

Zkušební plány jsou soubory pravidel, které definují průběh a způsoby ukončení zkoušky na zkušebním vzorku.

Rozdělení zkušebních plánů

1. Úplný zkušební plán

V průběhu zkoušky dochází k poruše všech zkoušených výrobků vybraných ze zkoumané populace. Tyto součásti se neobnovují ani neopravují. Zkouška končí v čase poruchy poslední zkoumané součásti.

2. Zkušební plán cenzurovaný počtem poruch

Zkouška se nazývá r – plán. Je limitovaná předem stanoveným počtem poruch součástí. Náhodná veličina je doba do poruchy. Výrobky se po poruše nenahrazují, nahrazují nebo opravují. Zkouška končí po dosažení předem stanoveného počtu poruch.

3. Zkušební plán cenzurovaný dobou do poruchy

Tato zkouška se nazývá t – plán. Zkouška je limitovaná předem zvolenou dobou trvání zkoušky a náhodná veličina je počet poruch, které se u zkoušky vyskytnou. Výrobky se po poruše nenahrazují, nahrazují nebo opravují. Zkouška končí po uplynutí předem stanoveného času zkoušky.

4. Zkušební plán progresivně cenzurovaný.

Jedná se o smíšený zkušební plán náhodně cenzurovaný nejen počtem poruch, ale i dobou zkoušky. Jedna skupina výrobků je zkoušena podle počtu poruch a zbývající skupina je omezena dobou zkoušky.

Značení zkušebních plánů

Značení zkušebních plánů je prováděno tříznakovým zápisem (n , U nebo R nebo M , r_0 nebo τ_0).

n – počet zkoušených výrobků

U – výrobek je po poruše vyřazen ze zkoušky

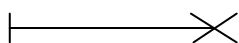
R – výrobek je po poruše nahrazen novým

M – výrobek je po poruše opraven a pokračuje ve zkoušce

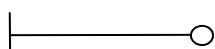
r_0 – po dosažení předem stanoveného počtu poruch zkouška končí (r – plán)

τ_0 – po dosažení předem stanovené doby zkouška končí (t – plán)

Symbody při sestavování zkušebních plánů



U jednoho ze zkoušených výrobku nastane v určitém čase t_i porucha. Čas t_i je menší než doba zkoušky.



Před uplynutím předem stanovené doby zkoušky nenastane u zkoušeného výrobku porucha.

Výpočet akumulovaného pracovního času

T_{aku} je celková doba, po kterou byly všechny zkoumané výrobky po celou dobu zkoušky v provozu. Výpočet této doby závisí na typu zvoleného zkušebního plánu.

Tab. č.3.1: Vzorce pro výpočet akumulovaného pracovního času

r - plán	U	$T_{aku} = \sum_{i=1}^{r_0} t_i + (n - r_0) * \tau$
	R	$T_{aku} = n * \tau$
	M	$T_{aku} = \sum_{i=1}^{r_0} (t_i - O_i) + (n - r_0) * \tau$
t- plán	U	$T_{aku} = \sum_{i=1}^r t_i + (n - r) * \tau_0$
	R	$T_{aku} = n * \tau_0$
	M	$T_{aku} = \sum_{i=1}^r (t_0 - O_i) + (n - r) * \tau_0$

Kde:

τ_0 ... doba zkoušky, od počátku do vzniku r_0 – té poruchy [h]

r ... počet poruch vzniklých u n výrobků, během zkoušky [-]

O_i ... čas potřebný na opravu i – tého výrobku [h]

Vyhodnocení zkušebních plánů

Vyhodnocením zkušebních plánů zjišťujeme parametry rozdělení základního souboru. Pokud známe typ rozdělení, lze stanovit interval, ve kterém leží hledaný parametr základního souboru na stanovené konfidenční úrovni. Při odhadu parametru rozdělení náhodné veličiny se využívá statistika, která vyjadřuje vztah mezi parametry odhadu a parametry základního souboru. Statistika je odvozena z chí – kvadrát rozdělení.

Nejčastěji se určuje dolní odhad střední hodnoty. Tento odhad se využívá ke zjištění dolního odhadu střední doby mezi poruchami.

$$(\widehat{T_{SD}})^m \geq \frac{2 * T_{aku}^m}{\chi_{2v, \alpha}^2} \quad (3.8)$$

Dále se určuje horní odhad střední hodnoty, který se využívá ke zjištění času potřebného na provedení údržby obnovovaného objektu.

$$(\widehat{T}_{SH})^m \leq \frac{2 \cdot T_{aku}^m}{\chi_{2v, \alpha}^2} \quad (3.9)$$

Zjišťuje se rovněž oboustranný interval střední hodnoty, kterým je možné zjistit interval, ve kterém leží střední hodnota nákladu na údržbu.

$$(\widehat{T}_{SD})^m \geq \frac{2 \cdot T_{aku}^m}{\chi_{2v, \alpha/2}^2} \quad (3.10)$$

$$(\widehat{T}_{SH})^m \leq \frac{2 \cdot T_{aku}^m}{\chi_{2v, \alpha/2}^2} \quad (3.11)$$

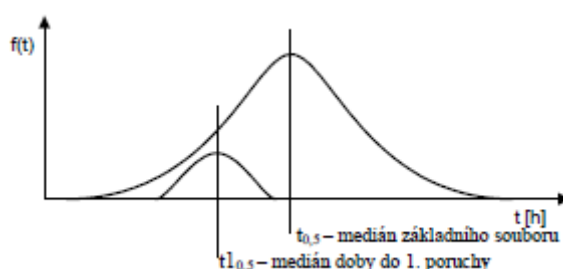
3.4.2 Zkrácené zkoušky

Tyto zkoušky se používají tam, kde zkoušený výrobek je v systému obsažen vícekrát a má stejné namáhání. Tato zkouška se označuje [n, U, 1]. Výhoda těchto zkoušek spočívá v tom, že nemusíme čekat, až se porouchají všechny prvky systému.

Doba mezi poruchami se náhodně mění, ale při zkoušení velkého počtu systémů se hustota pravděpodobnosti centruje kolem určité hodnoty.

První doba mezi poruchami je nejmenší hodnota z počtu možných náhodných veličin, protože doby mezi poruchami zbývajících prvků systému musí být větší než doba mezi poruchami porouchaného prvku.

První hodnota ze skupiny n údajů doby mezi poruchami se centruje kolem své mediánové hodnoty. Abychom zjistily parametry rozdělení základního souboru, musíme zahrnout vliv zbývajících neporouchaných prvků systému.



Obr.č. 3.5: Vztah mediánu doby do první poruchy a mediánu základního souboru [3]

U Weibullova rozdělení pravděpodobnosti se předpokládá, že parametr tvaru m má stejnou číselnou hodnotu jak pro rozdělení do první doby mezi poruchami, tak pro celou populaci. Vychází se z názoru, že parametr tvaru m reprezentuje typ opotřebení. Typ opotřebení první součástky bude tedy stejný, jako typ opotřebení celé populace.

Výpočet střední doby mezi poruchami

1. Určujícími zkouškami určíme typ a parametry rozdělení doby mezi poruchami prvku.
2. Určíme medián Weibullova rozdělení doby mezi poruchami dle vztahu:

$$F(t) = 0,5 = 1 - e^{\left(-\frac{t}{t_0}\right)^m}$$

3. Provedeme odhad pravděpodobnosti p vzniku elementárního jevu poruchy z n možných dle vztahu:

$$p \cong F_1(M) = \frac{k - 0,3}{n + 0,4}$$

4. Provedeme výpočet t_{0pop} dle vztahu:

$$t_{0pop} = t_{1m} * -(\ln(F(m)))^{\frac{1}{m}} \quad (3.12)$$

5. Výpočet T_s dle vztahu:

$$T_s = t_{0pop} * \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3.13)$$

3.5.1 Výpočet pohotovosti

Pohotovost, je pravděpodobnost, že je vozidlo v bezporuchovém stavu. Součinitel pohotovosti A vyjadřuje poměr celkové doby bezporuchového provozu do času t k celkové době provozu do času t .

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTBR} \quad (3.14)$$

4. Stanovení charakteristik spolehlivosti s využitím experimentálních dat

4.1 Stanovení charakteristik vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952

Data potřebná k hodnocení spolehlivosti

K hodnocení spolehlivosti je nutné sbírat data, která jsou dostatečně věrohodná. Protože je vzduchová pružicí soustava neustále obnovovaná, je potřeba znát kilometrický proběh mezi poruchami, nebo časový údaj doby mezi poruchami určitého prvku.

Tab. č.4.1: Časové údaje o poruchách vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952 č. 6555

24.8.2006	vadný ventilek pérování
4.11.2007	prasklé vzduchové potrubí
18.12.2008	prasklý vlnovec
14.11.2009	vadná vzduchová spojka
10.12.2009	vadný ventilek pérování
17.11.2010	prasklý vlnovec
1.9.2011	prasklé vzduchové potrubí

4.1.1 Odhad parametrů W2P

Měl jsem k dispozici vzorek deseti autobusů. Od každého autobusu jsem měl data dob vzniku poruchy jednotlivých prvků. Pro odhad parametrů rozdělení jsem vybral od každého autobusu doby mezi poruchami prvku.

Tab. č. 4.2: Doby mezi poruchami vzduchové vlnovcové pružiny.

č.a.	doby mezi poruchami
6541	59
6543	1003
6544	169
6545	745
6549	110
6553	1159
6554	192
6555	699
6556	231
6557	517

Tyto hodnoty byly seřazeny od nejmenší po největší, a vypočteno dle vzorce (3.6) mediánové pořadí $F_i(m)$. Dále byly vypočteny hodnoty x a y , za kterých se sestaví graf.

Vzorový výpočet hodnot $F_i(m)$, x a y vzduchové vlnovcové pružiny:

$$F_i(m) = \frac{n_i - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{10 + 0,4} = 0,0673$$

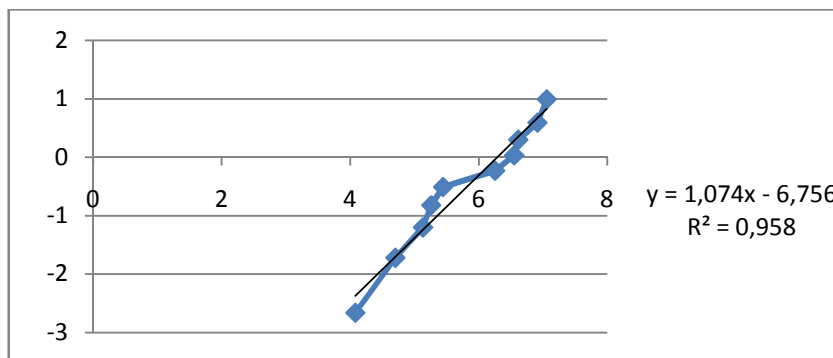
$$x = \ln(t) = \ln(59) = 4,077$$

$$y = \ln(-\ln(1 - F(m))) = \ln(-\ln(1 - 0,0673)) = -2,664$$

Tab. č. 4.3: Tabulka výsledných hodnot pro sestavení grafu.

t	X	ni	Fi(m)	Y
59	4,077537	1	0,067308	-2,66384309
110	4,70048	2	0,163462	-1,72326315
169	5,129899	3	0,259615	-1,20202312
192	5,257495	4	0,355769	-0,82166652
231	5,442418	5	0,451923	-0,50859539
519	6,251904	6	0,548077	-0,23036544
699	6,549651	7	0,644231	0,032924962
745	6,613384	8	0,740385	0,299032932
1003	6,910751	9	0,836538	0,593977217
1159	7,055313	10	0,932692	0,992688929

Z hodnot uvedených v tabulce č. 4.3 sestavíme graf bodového odhadu parametrů W2P.



Obr. č. 4.1: Graf bodového odhadu parametrů W2P vzduchové vlnovcové pružiny

Hodnoty zobrazené v grafu byly proloženy přímkou a zobrazena rovnice lineární regrese.

$$Y = 1,074x - 0,958$$

Z této rovnice je patrné, že parametr tvaru m je roven 1,074. Parametr měřítka t_0 vypočítáme z rovnice (3.7).

$$t_0 = e^{\left(-\frac{q}{m}\right)} = e^{\left(\frac{6,756}{1,074}\right)} = 539,42$$

Tímto způsobem je postupováno při výpočtu parametrů W2p všech tvořících prvků vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952.

Hodnoty potřebné k sestavení grafu lineární regrese jsou uvedeny v příloze A.

Grafy lineární regrese jednotlivých prvků jsou uvedeny v příloze B.

Tab. č. 4.4: Hodnoty parametrů rozdělení W2P součástí systému autobusu Karosa B952

	m	t_0
Vzduchová vlnovcová pružina	1,074	539,42448
Vzduchová spojka	1,201	1082,1204
Vzduchové vedení	1,178	1468,5347
Regulační ventil pérování	1,267	958,93643

Je nutné ověřit, zda se doby mezi poruchami skutečně řídí W2P rozdělením náhodné veličiny. K tomu nám slouží testy dobré shody.

4.1.2 Kolmogorovův – Smirnovův test pro 1 výběr

Tento test se používá, pokud máme výběr o málo hodnotách. Tento test porovnává shodu empirického a teoretického rozdělení. Testuje se hypotéza H_0 , že výběr pochází ze souboru s předpokládaným teoretickým rozdělením se spojitou distribuční funkcí $F(x)$. Tato funkce musí být plně specifikovaná.

Volba nulové a alternativní hypotézy

H_0 : Výběr dob do poruchy vzduchové vlnovcové pružiny pochází z Weibulova rozdělení s parametry $m = 1,074$; $t_0 = 539,42$.

H_1 : Výběr dob do poruchy vzduchové vlnovcové pružiny nepochází z Weibulova rozdělení s parametry $m = 1,074$; $t_0 = 539,42$.

Volba testové statistiky

Jako testové kritérium použijeme statistiku D_n , jejíž význačné kvantily jsou tabelovány. Tato statistika je definována jako maximální odchylka teoretické a empirické distribuční funkce. Je potřeba vypočítat u každé naměřené hodnoty rozdíl mezi empirickou a teoretickou distribuční funkcí a následně vybrat maximum z těchto hodnot.

Rozdíl u vrcholu

$$D_{i(v)} = \left| \frac{i}{n} - F_0(x_{(i)}) \right| = \left| \frac{1}{10} - 0,0385 \right| = 0,0615$$

Rozdíl u paty

$$D_{i(p)} = \left| \frac{(i-1)}{n} - F_0(x_{(i)}) \right| = \left| \frac{1-1}{10} - 0,0385 \right| = 0,0385$$

Maximum z těchto hodnot je tedy 0,0614.

Tab. č. 4.5: Hodnoty potřebné k výpočtu Kolmogorova – Smirnovova testu

t	pořadí (i)	(i-1)/n	i/n	Fo (xi)	Di pro ((i-1)/n)	Di pro i/n	Di
59	1	0	0,1	0,038545	0,038544913	0,061455	0,061455
110	2	0,1	0,2	0,083702	0,016298168	0,116298	0,116298
169	3	0,2	0,3	0,140713	0,059286668	0,159287	0,159287
192	4	0,3	0,4	0,163582	0,136417877	0,236418	0,236418
231	5	0,4	0,5	0,202646	0,197353671	0,297354	0,297354
519	6	0,5	0,6	0,472592	0,027408025	0,127408	0,127408
699	7	0,6	0,7	0,608364	0,008364292	0,091636	0,091636
745	8	0,7	0,8	0,638429	0,061570769	0,161571	0,161571
1003	9	0,8	0,9	0,774592	0,025407989	0,125408	0,125408
1159	10	0,9	1	0,833616	0,06638429	0,166384	0,166384

Mezi všemi vypočtenými rozdíly D_i nalezneme maximální rozdíl D_i a ten následně srovnáme s kritickou hodnotou rozdělení D pro tento test. Hodnotu D nalezneme v tabulkách jako kvantil pravděpodobnosti $1-\alpha$ pro počet měření n .

Hladinu významnosti α budeme uvažovat 0,05.

Počet měření n	$D_{k,0,95}$
10	0,409

$$0,297 < 0,409 \Rightarrow \max D_i < D_{k,0,95}$$

Maximální rozdíl D_i nepřekročil kritickou hodnotu $D_{k,0,95}$, nezamítáme hypotézu H_0 , výběr dob do poruchy vzduchové vlnovcové pružiny pochází z dvoupametrického Weibulova rozdělení pravděpodobnosti s parametry $m = 1,074$; $t_0 = 539,42$.

Tabulky výsledků potřebných k vyhodnocení Kolmogorov – Smirnovova testu jednotlivých prvků jsou uvedeny v příloze C.

Tab. č. 4.6: Výsledky Kolmogorova – Smirnovova testu pro autobus Karosa B952

prvek	počet měření n	$D_{k\ 0,95}$	max D_i
Vzduchová vlnovcová pružina	10	0,409	0,297
Vzduchová spojka	6	0,519	0,229
Vzduchové potrubí	7	0,483	0,278
Ventilek pérování	10	0,409	0,279

Z uvedené tabulky je patrné, že max D_i je menší než $D_{k\ 0,95}$. To znamená, že doby mezi poruchami součástí vzduchového vypružení autobusu Karosa se řídí Weibulovým rozdělením pravděpodobnosti s určenými parametry.

4.1.3 Výpočet střední doby do poruchy T_s

Vzorový výpočet T_s vzduchové vlnovcové pružiny

1. Úpravou rovnice získáme čas t_{1m}

$$t_{1m} = t_0 * -(\ln(F_m))^{\frac{1}{m}} = 536,39 * -(\ln 0,5)^{\frac{1}{1,074}} = 383,46$$

2. Provedeme odhad pravděpodobnosti p vzniku elementárního jevu poruchy z n možných dle vztahu:

$$p \cong F_1(M) = \frac{k - 0,3}{n + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{6 + 0,4} = 0,109$$

3. Provedeme výpočet t_{0pop} dle vztahu (3.12):

$$t_{0pop} = t_{1m} * -(\ln(F(m)))^{\frac{1}{m}} = 383,46 * -(\ln 0,109)^{\frac{1}{1,074}} = 803,4$$

4. Výpočet T_s dle vztahu (3.13):

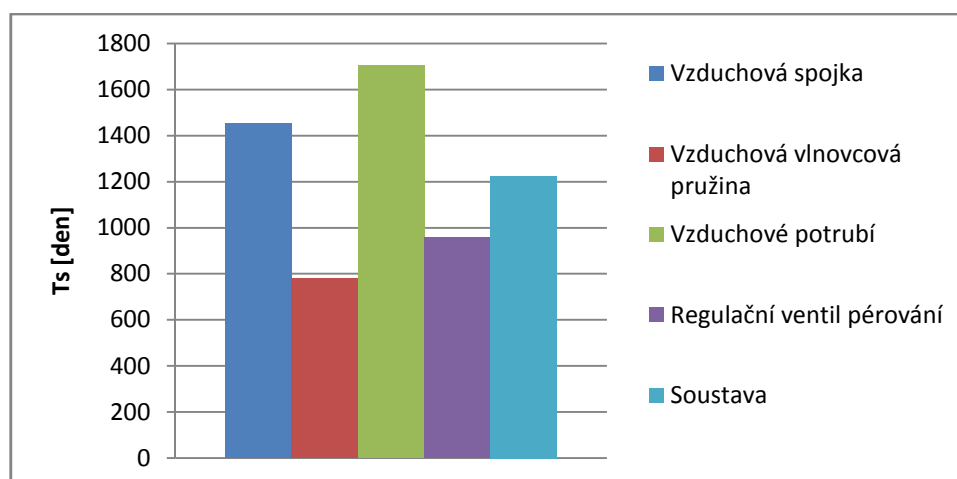
$$T_s = t_{0pop} * \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) = 803,4 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,074}\right) = 781,54 \text{ dní}$$

Tab. č. 4.7 Střední hodnoty dob mezi poruchami prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952

prvek	T_s [den]
Vzduchová spojka	1453,178
Vzduchová vlnovcová pružina	781,5445
Vzduchové potrubí	1705,212
Regulační ventil pérování	956,9039

Střední doba do poruchy celého systému se vypočítá jako průměr středních dob mezi poruchami jednotlivých prvků systému.

$$T_{S_{celk}} = \frac{1453,178 + 781,545 + 1705,212 + 956,9}{4} = 1224,1 \text{ [dní]}$$



Obr.č. 4.2: Střední doby mezi poruchami T_s prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952

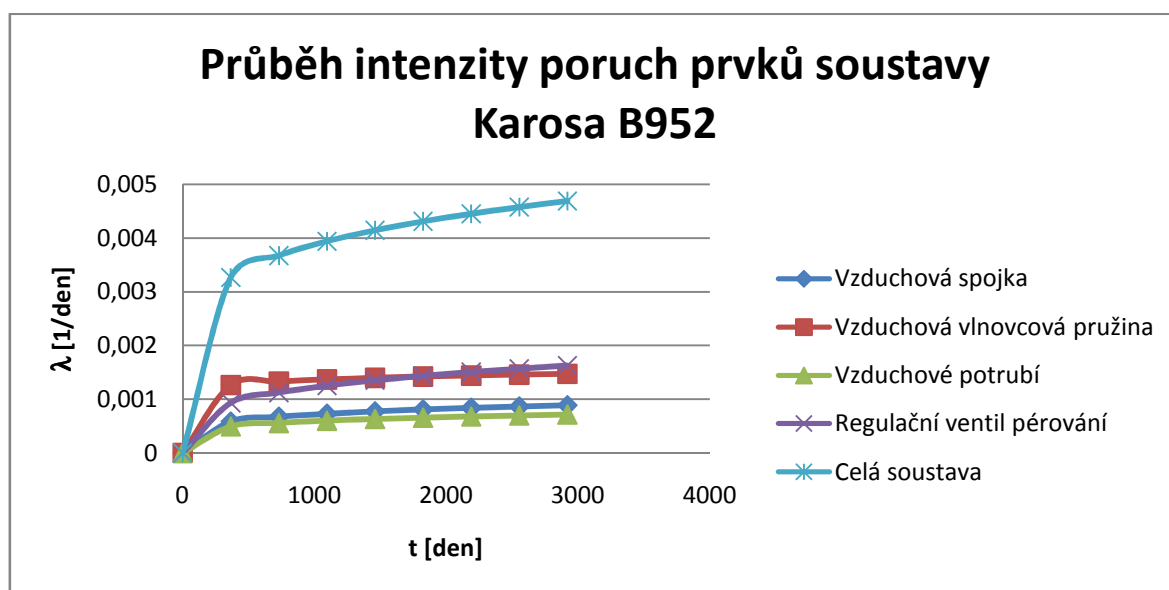
4.1.4 Výpočet intenzity poruch λ

Vzorový výpočet intenzity poruch λ bude proveden pro vzduchovou vlnovcovou pružinu dle vztahu (3.6). Ve výpočtu budeme uvažovat čas $t = 365$ dní.

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} * \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} = \frac{1,074}{803,4} * \left(\frac{365}{803,4}\right)^{1,074-1} = 0,00126 \text{ 1/den}$$

Tab. č. 4.8: Výsledky výpočtů intenzit poruch λ pro prvky vzduchového pružícího systému autobusu Karosa B952.

prvek	t [den]								
	0	365	730	1095	1460	1825	2190	2555	2920
Vzduchová spojka	0	0,00058	0,00067	0,0007	0,00077	0,0008	0,00083	0,0009	0,000883
Vzduchová vlnovcová pružina	0	0,00126	0,00133	0,0014	0,0014	0,00142	0,00144	0,0015	0,001471
Vzduchové potrubí	0	0,00049	0,00056	0,0006	0,00063	0,00065	0,00068	0,0007	0,000711
Regulační ventil pérování	0	0,00093	0,00112	0,0012	0,00135	0,00143	0,0015	0,0016	0,001624



Obr. č. 4.3: Průběh intenzity poruch prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952.

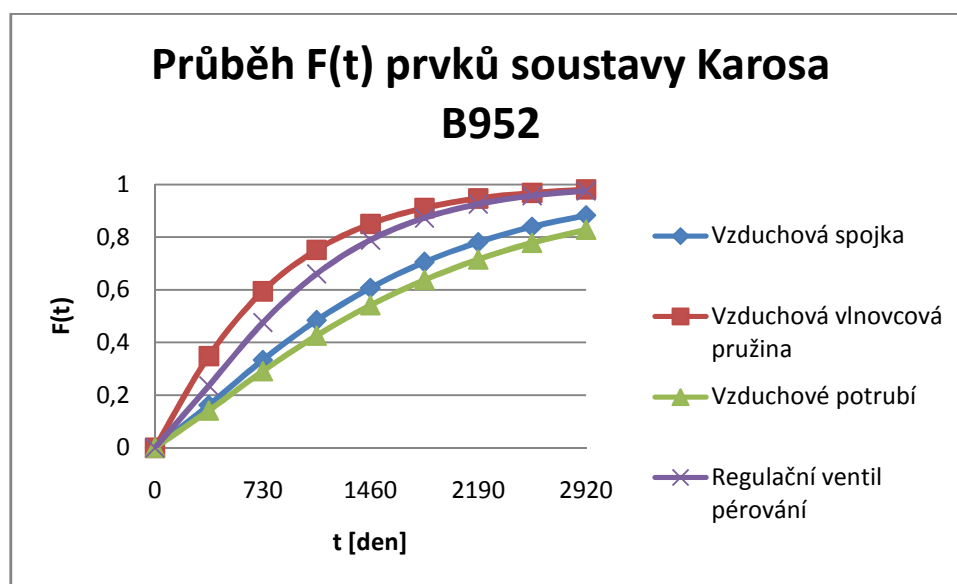
4.1.5 Výpočet distribuční funkce $F(t)$

Vzorový výpočet distribuční funkce $F(t)$ bude proveden pro vzduchovou vlnovcovou pružinu dle vztahu (). Ve výpočtu budeme uvažovat čas $t = 365$ dní.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} = 1 - e^{-\left(\frac{365}{781,54}\right)^{1,074}} = 0,349$$

Tab. č. 4.9: Výsledky výpočtů distribuční funkce $F(t)$ pro prvky vzduchového pružícího systému autobusu Karosa B952

prvek	t [den]								
	0	365	730	1095	1460	1825	2190	2555	2920
Vzduchová spojka	0	0,00058	0,00067	0,0007	0,00077	0,0008	0,00083	0,0009	0,000883
Vzduchová vlnovcová pružina	0	0,00126	0,00133	0,0014	0,0014	0,00142	0,00144	0,0015	0,001471
Vzduchové potrubí	0	0,00049	0,00056	0,0006	0,00063	0,00065	0,00068	0,0007	0,000711
Regulační ventil pérování	0	0,00093	0,00112	0,0012	0,00135	0,00143	0,0015	0,0016	0,001624



Obr. č. 4.4: Průběh distribuční funkce prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952

4.1.6 Analýza stromu poruchových stavů vzduchového pružícího systému autobusu Karosa B952.

Je to deduktivní metoda, která svoji povahou patří mezi speciální orientované grafy. Strom poruch je logický diagram, který znázorňuje logické vztahy mezi vrcholovou událostí, která se nazývá **top jev** a příčinami vzniku tohoto jevu. Příčiny vzniku top jevu mohou být v očekávaných poruchách, náhodných poruchách a v provozních podmínkách.

Strom poruch představuje všechny možné kombinace poruch prvků a poruchových jevů, které mohou vést ke vzniku top jevu.

Výstupem z analýzy:

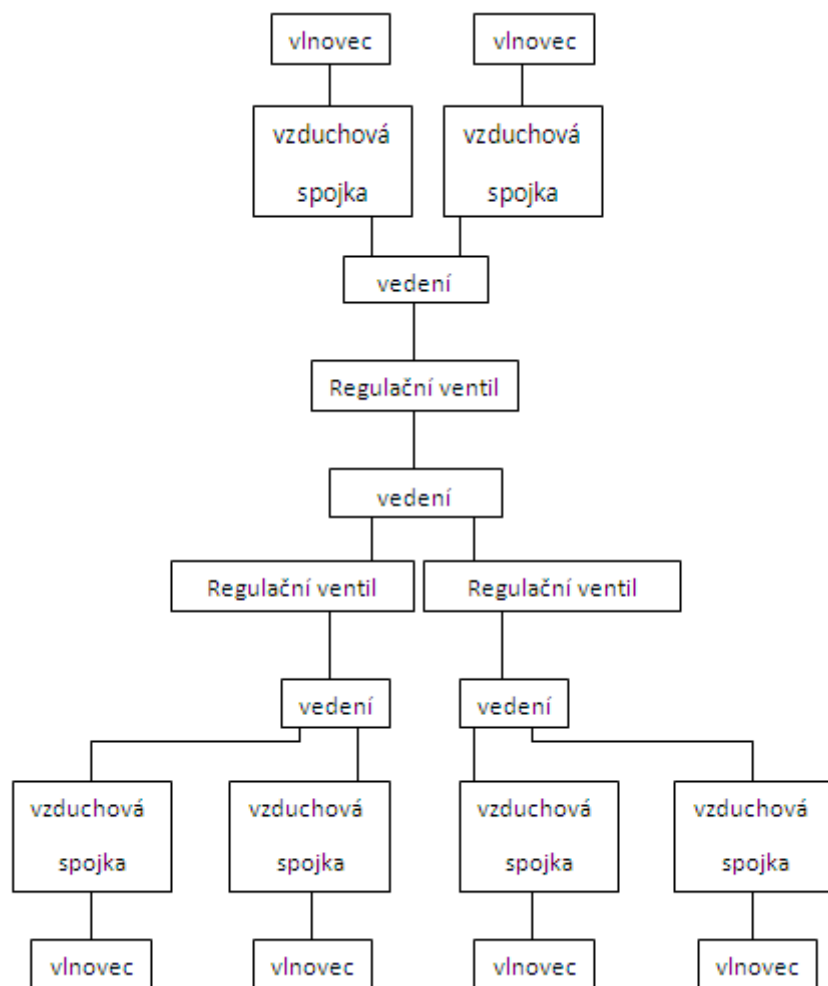
- pravděpodobnost s jakou nežádoucí vrcholová událost může v provozu nastat během předem daného časového intervalu
- soupis možných kombinací provozních poruch, prostředí, chyb lidského faktoru a provozních podmínek, které by mohli v kombinaci, ale i jednotlivě vést ke vzniku top jevu

Realizace metody:

- přípravná část
- tvorba stromu poruchových stavů
- kvalitativní analýza stromu poruchových stavů
- kvantitativní analýza stromu poruchových stavů
- vyhodnocení analýzy

Přípravná část

Konstrukční uspořádání systému



Popis funkcí systému

V závislosti na zatížení vozidla se pomocí regulačního ventilu pérování napouští popřípadě vypouští vzduch z pružícího prvku vozidla. Udrží se tak konstantní tuhost a výška vozidla nad vozovkou.

Definování top jevu

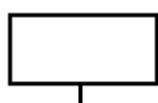
Top jev musí přesně a jednoznačně definovat událost, vymezovat jaké části nebo jakého systému se top jev týká a v jaké fázi provozu a za jakých podmínek tato událost nastala. Top jev musí být definován tak, aby bylo možné s ohledem na uvažovaný stav systému jednoznačně určit, zda top jev může nastat nebo ne.

Top jev – událost, která představuje neschopnost systému plnit požadované funkce. V případě vzduchové pružící soustavy autobusu budeme uvažovat Top jev jako poruchu této soustavy.

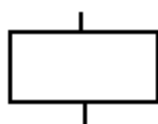
Tvorba stromu poruch

Je potřeba identifikovat všechny události, které by mohly být bezprostředními příčinami vzniku top jevu. Pomocí určených grafických značek, které nazýváme hradla, zaznamenáváme vzájemnou logickou vazbu mezi událostí a jejími příčinami. Dále je potřeba posoudit, jestli příčiny daného top jevu představují událost, která se již dále nerozvíjí nebo ne.

Schematické značky používané pro kreslení stromu poruch



blok s názvem nebo popisem top jevu



blok s názvem nebo popisem jevu, případně s uvedením pravděpodobnosti výskytu



základní jev – dále se nedělí



přenos do – jev definovaný kdekoliv jinde ve stromu poruch



přenos ven – opakovaný jev použitý kdekoliv jinde ve stromu poruch

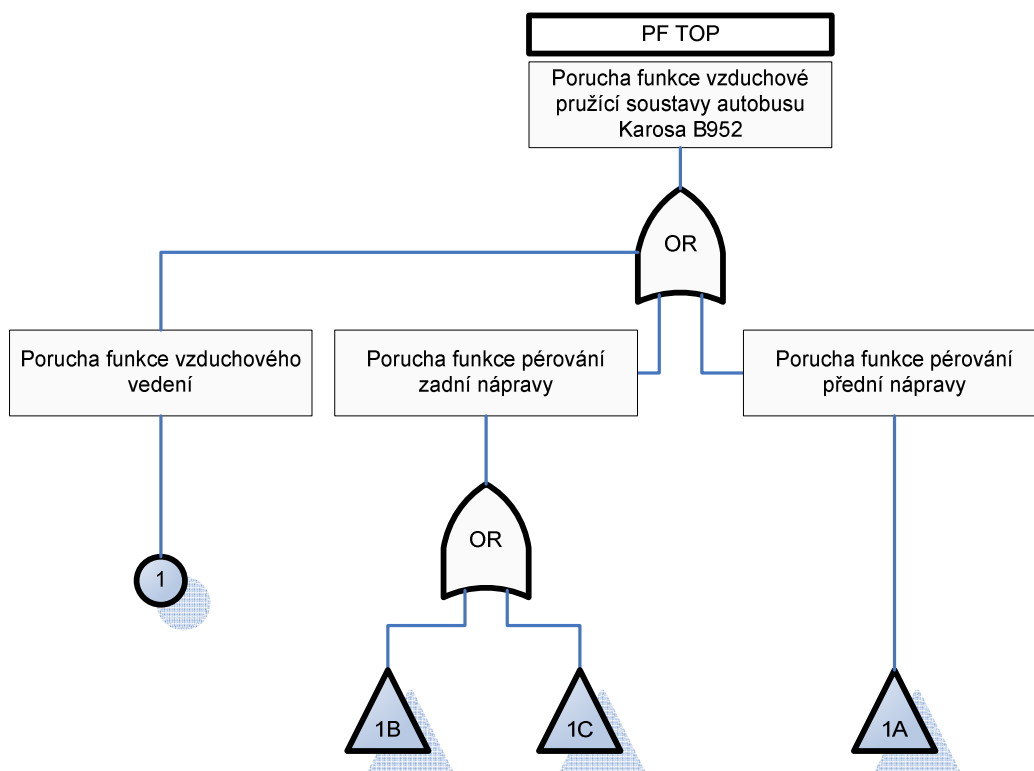


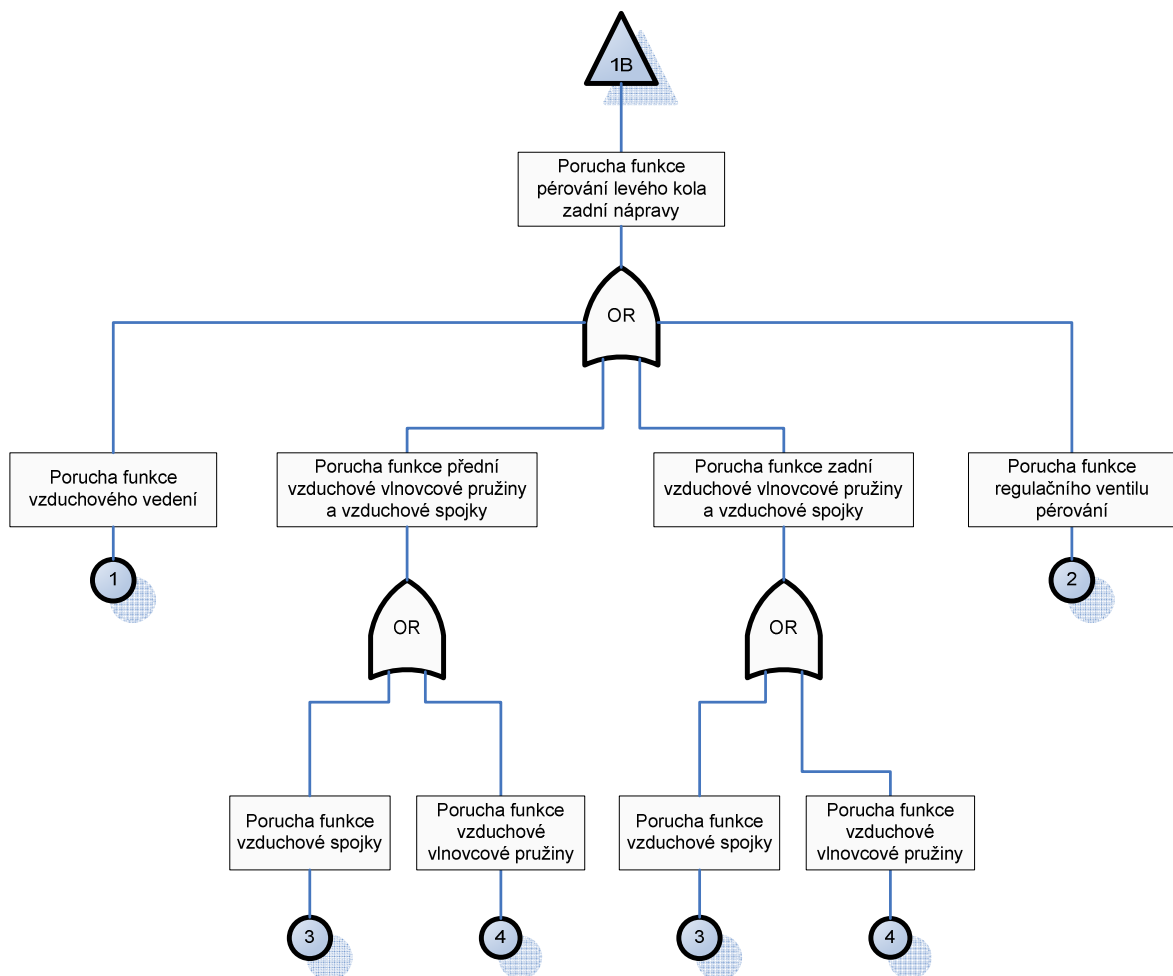
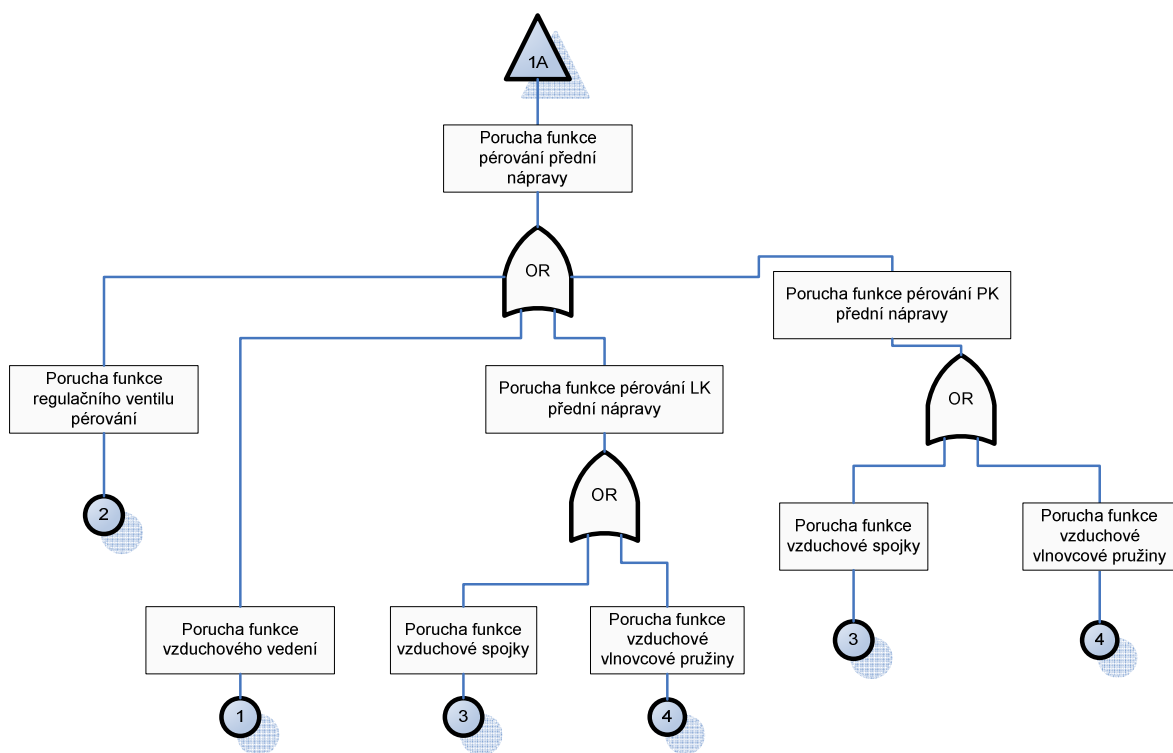
hradlo AND – jev nastane pouze tehdy, nastanou-li všechny vstupní události

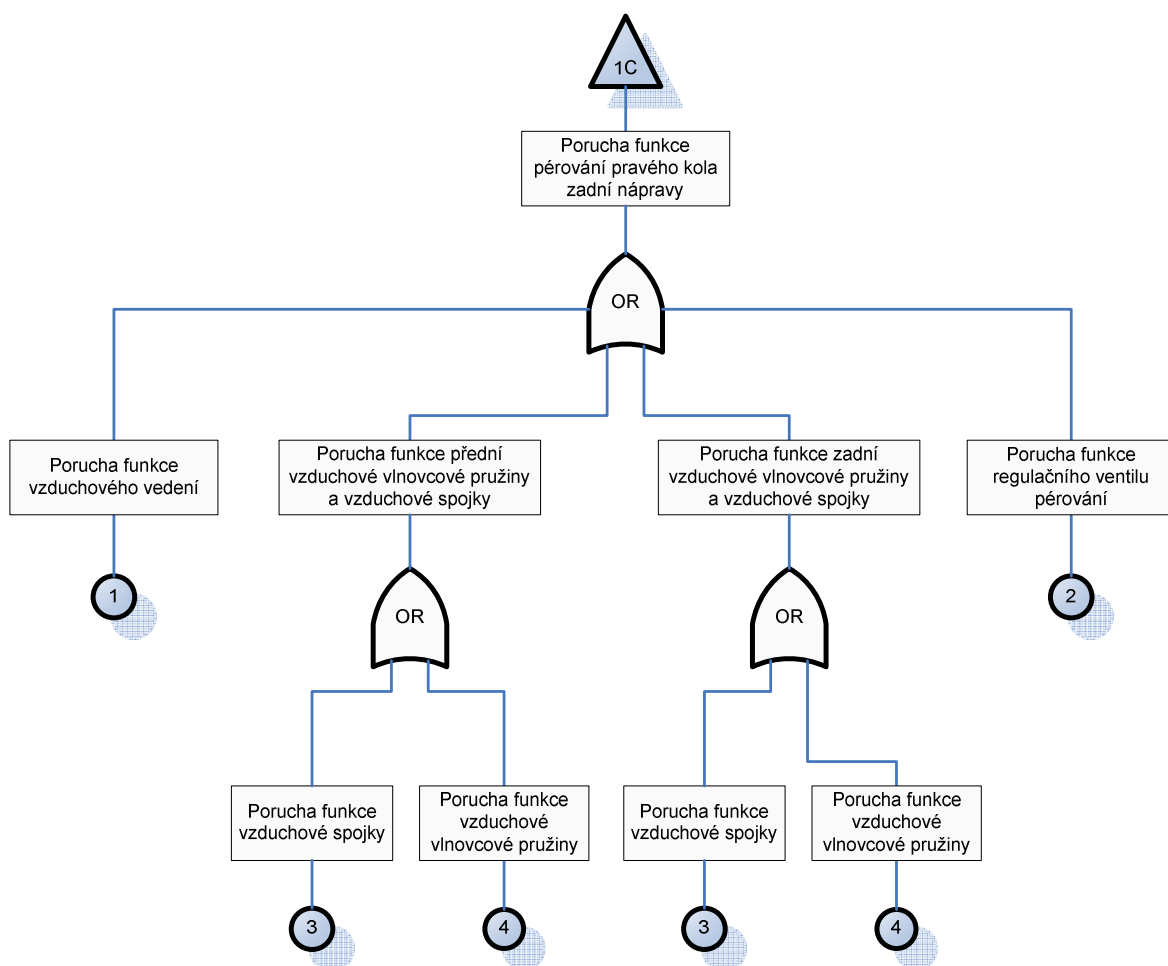


hradlo OR – jev nastane tehdy, nastane-li kterákoliv vstupní událost, nebo jejich libovolná kombinace

Strom poruch vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952







Vysvětlivky

- 1 – vzduchové vedení
- 2 – regulační ventil pérování
- 3 – vzduchová spojka
- 4 – vzduchová vlnovcová pružina
- 1A – porucha funkce pérování přední nápravy
- 1B – porucha funkce pérování zadní nápravy LK
- 1C – porucha funkce pérování zadní nápravy PK

Kvantitativní analýza stromu poruchových stavů

Analýza se může provést, pokud jsou známy parametry spolehlivosti elementárních jevů.

Touto analýzou můžeme určit:

- pravděpodobnost, že top jev nastane v zadaném intervalu provozu daného systému
- pravděpodobnost, že top jev nenastane v zadaném intervalu provozu daného systému
- střední doba do prvního nastoupení top jevu
- střední počet nastoupení top jevu v zadaném intervalu provozu systému

Výpočet Top jevu

Pro vzorový výpočet distribuční funkce $F(t)$ vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952 budeme uvažovat čas $t = 365$ dní.

$$F(t)_{1A} = 1 - (R(t)_1 * R(t)_2 * R(t)_3 * R(t)_4 * R(t)_3 * R(t)_4)$$

$$F(t)_{1A} = 1 - (0,859 * 0,765 * 0,838 * 0,651 * 0,838 * 0,651)$$

$$F(t)_{1A} = 1 - 0,196$$

$$F(t)_{1A} = 0,804$$

$$F(t)_{1B} = 1 - (R(t)_1 * R(t)_2 * R(t)_3 * R(t)_4 * R(t)_3 * R(t)_4)$$

$$F(t)_{1B} = 1 - (0,859 * 0,765 * 0,838 * 0,651 * 0,838 * 0,651)$$

$$F(t)_{1B} = 1 - 0,196$$

$$F(t)_{1B} = 0,804$$

$$F(t)_{1C} = 0,804$$

$$F(t)_{celek} = 1 - ((1 - F(t)_{1A}) * (1 - F(t)_{1B}) * (1 - F(t)_{1B}) * R(t)_1)$$

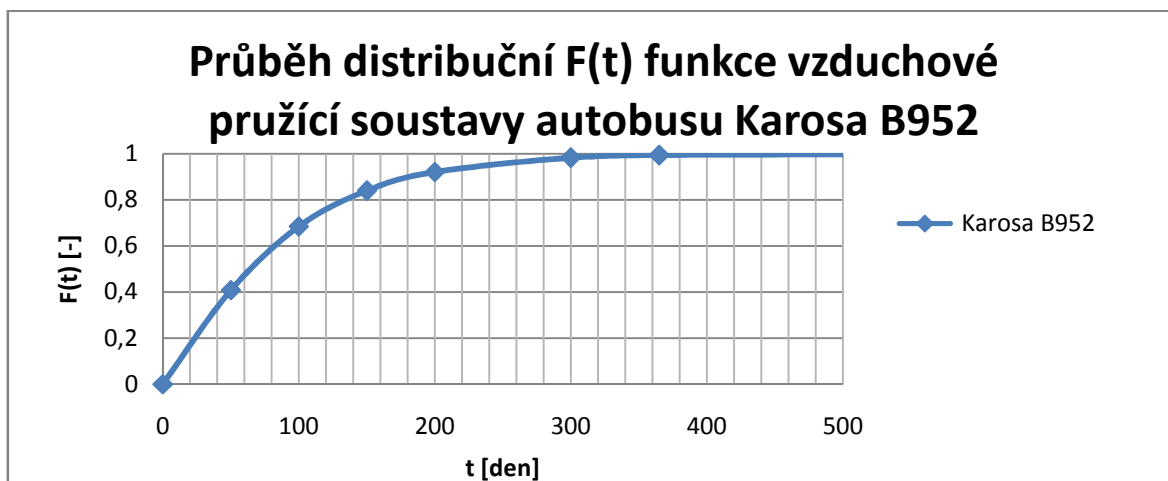
$$F(t)_{celek} = 1 - ((1 - 0,804) * (1 - 0,804) * (1 - 0,804) * 0,859)$$

$$F(t)_{celek} = 1 - (0,196 * 0,196 * 0,196 * 0,859)$$

$$F(t)_{celek} = 1 - 0,00643$$

$$F(t)_{celek} = 0,9935$$

Distribuční funkce $F(t)$ vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952 v čase $t = 365$ je rovna 0,9935.



Obr. č. 4.5: Průběh distribuční funkce $F(t)$ vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952.

Tabulka hodnot potřebných k sestavení grafu průběhu distribuční funkce vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952 je uvedena v příloze D.

4.1.7 Udržovatelnost

Protože k výpočtu střední doby údržby jednotlivých prvků vzduchové pružicí soustavy nejsou známa potřebná data, byly tyto střední doby určeny odborným odhadem konzultanta. Do této doby je zahrnut čas potřebný k přistavení a odstavení vozidla, detekci závady a příprava potřebného nářadí a náhradních dílů na opravu.

Tab. č. 4.10: Střední doby údržby jednotlivých prvků vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952

	$T_{s\acute{u}dr}$ [h]
Vzduchová spojka	0,5
Vzduchová vlnovcová pružina	1
Vzduchové potrubí	0,5
Regulační ventil pérování	1

Střední doba údržby se vypočítá jako průměr středních dob údržby jednotlivých prvků soustavy.

$$T_{S_{\text{údr}}} = \frac{0,5 + 1 + 0,5 + 1}{4} = 0,75 \text{ hod} = 0,031 \text{ dní}$$

4.1.8 Logistické zpoždění

Dle konzultanta bývají všechny náhradní díly pro vzduchovou pružicí soustavu autobusu Karosa B952 na skladě, to znamená, že u vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952 nevzniká logistické zpoždění, které by ovlivnilo dobu údržby systému.

4.1.9 Pohotovost

Výpočet pohotovosti vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1224,21}{1224,21 + 0,031} = 0,99997$$

4.2 Stanovení charakteristik vzduchové pružicí soustavy autobusu Solaris Urbino 12.

4.2.1 Odhad parametrů W2P

Odhad parametrů W2P rozdělení prvků vzduchové pružicí soustavy autobusu Solaris Urbino 12 byl proveden stejným způsobem jako u prvků vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952. Parametry prvků této soustavy jsou uvedeny v tabulce č. 4.11.

Tab. č. 4.11: Parametry W2P rozdělení prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12

	m	t ₀
Vzduchový vak	1,142	308,06
Vzduchové potrubí	1,317	548,26
Vzduchová spojka	1,591	499,86
Snímač výšky pérování	1,021	279,693
Řídící ventil ECAS	1,236	609,483

Hodnoty pro sestavení grafu lineární regrese jsou uvedeny v příloze E. Grafy lineární regrese prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12 jsou uvedeny v příloze F.

4.2.2 Kolmogorovův – Smirnovův test pro 1 výběr

Bylo nutno určit, zda výběr pochází ze souboru s předpokládaným teoretickým rozdělením s určenými parametry. Z tabulky č. 4.12 je patrné, že doby mezi poruchami všech prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12 se řídí W2P rozdělením s určenými parametry.

Tabulky výsledků potřebných k vyhodnocení Kolmogorov – Smirnovova testu jednotlivých prvků jsou uvedeny v příloze G.

Tab. č. 4.12: Výsledky Kolmogorov – Smirnovova testu

prvek	počet měření n	D _{k 0,95}	max D _i
Vzduchový vak	7	0,483	0,167
Vzduchová spojka	6	0,519	0,211
Vzduchové potrubí	6	0,519	0,317
Snímač výšky pérování	5	0,563	0,219
Řídící ventil ECAS	6	0,519	0,213

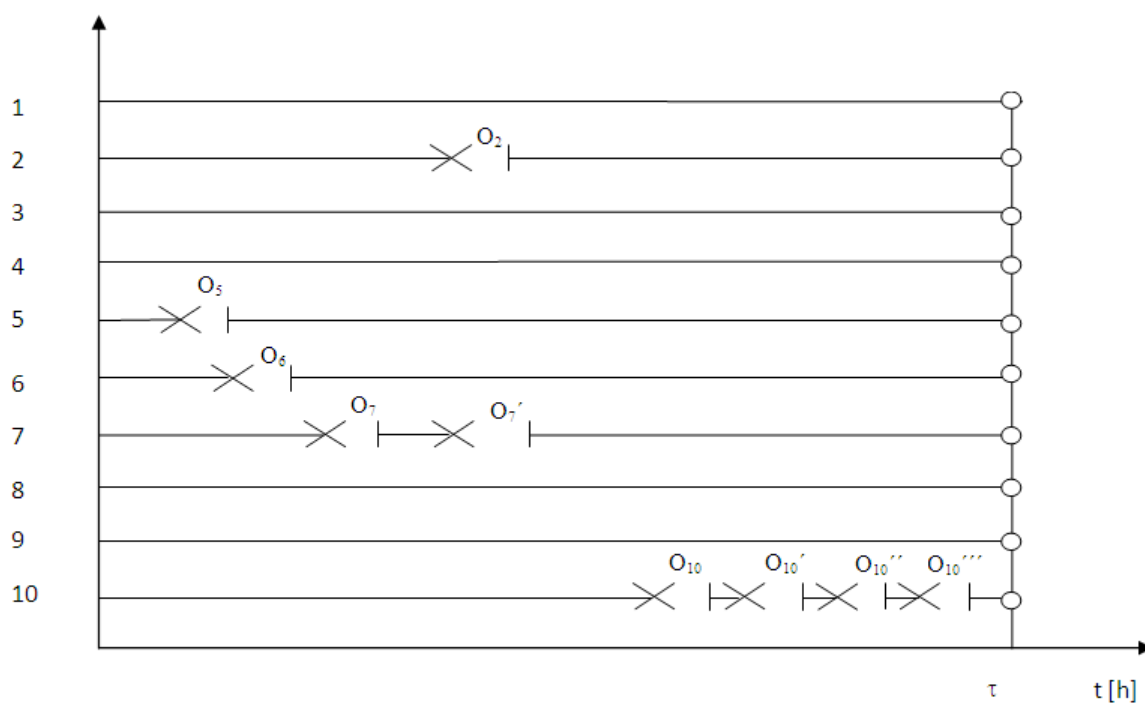
4.2.3 Výpočet střední doby mezi poruchami T_s

Výpočet střední doby mezi poruchami vzduchového vaku, vzduchové spojky, vzduchového potrubí a snímače výšky pérování byl proveden stejným způsobem jako u prvků vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952.

Střední doba mezi poruchami řídicího ventilu ECAS byl proveden pomocí zkušebního plánu s označením (n , M , τ_0)

$$n = 10$$

$$\tau_0 = 730 \text{ dní}$$



Obr. č. 4.6: Grafické vyjádření zkušebního plánu.

Tab. č. 4.13 Doby provozu a oprav řídicího ventilu ECAS u jednotlivých autobusů

Evidenční číslo	Číslo autobusu	Doba provozu do vzniku poruchy [den]	Doba údržby [den]
1	7723	-	-
2	7726	598	0,0625
3	7727	-	-
4	7741	-	-
5	7743	68	0,0625
6	7744	74	0,0625
7	7745	173	0,0625
		209	0,0625
8	7746	-	-
9	7747	-	-
10	7748	550	0,0625
		555	0,0625
		605	0,0625
		648	0,0625

Nejprve je potřeba vypočítat T_{aku} dle vzorce:

$$T_{aku} = \sum_{i=1}^r (t_0 - O_i) + (n - r) * \tau_0$$

$$T_{aku} = (730 - 0,0625) + (730 - 0,0625) + (730 - 0,0625) + (730 - (0,0625 + 0,0625 + 730 - (0,0625 + 0,0625 + 0,0625 + 0,0625) + (5 * 730)) = 7299,48 \text{ dní}$$

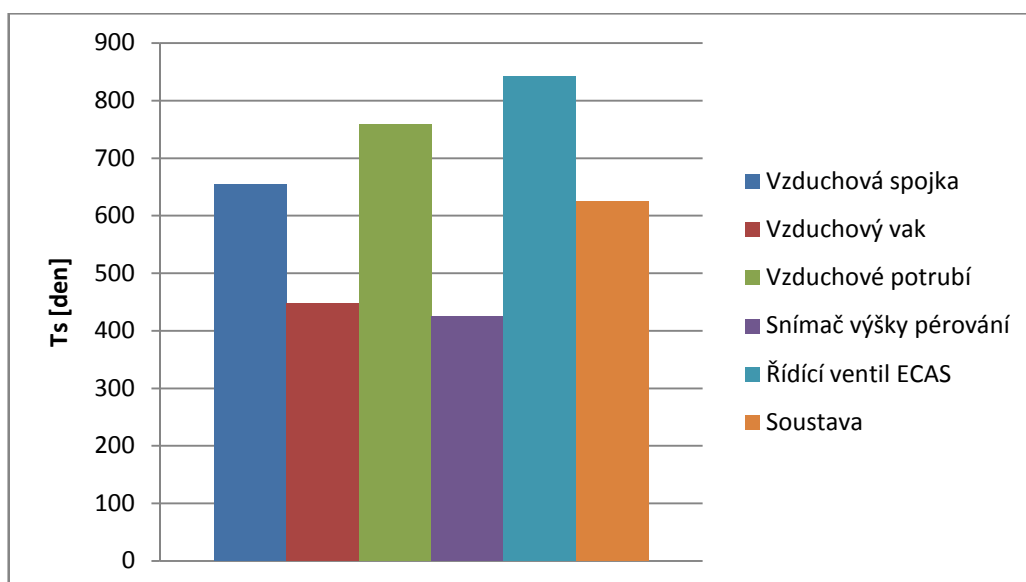
Nyní z parametrů W2P rozdělení a T_{aku} vypočítáme T_s dle vzorce ().

$$(\widehat{T_{SD}})^m \geq \frac{2 * T_{aku}^m}{\chi_{2v,\alpha}^2} = \frac{2 * 7299,48^{1,236}}{15,19} = 841,9 \text{ dní}$$

Tab. č. 4.14: Střední hodnoty dob mezi poruchami prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12.

prvek	Ts [den]
Vzduchová spojka	653,3295
Vzduchový vak	447,224
Vzduchové potrubí	757,9027
Snímač výšky pérování	424,3946
Řídící ventil ECAS	841,9

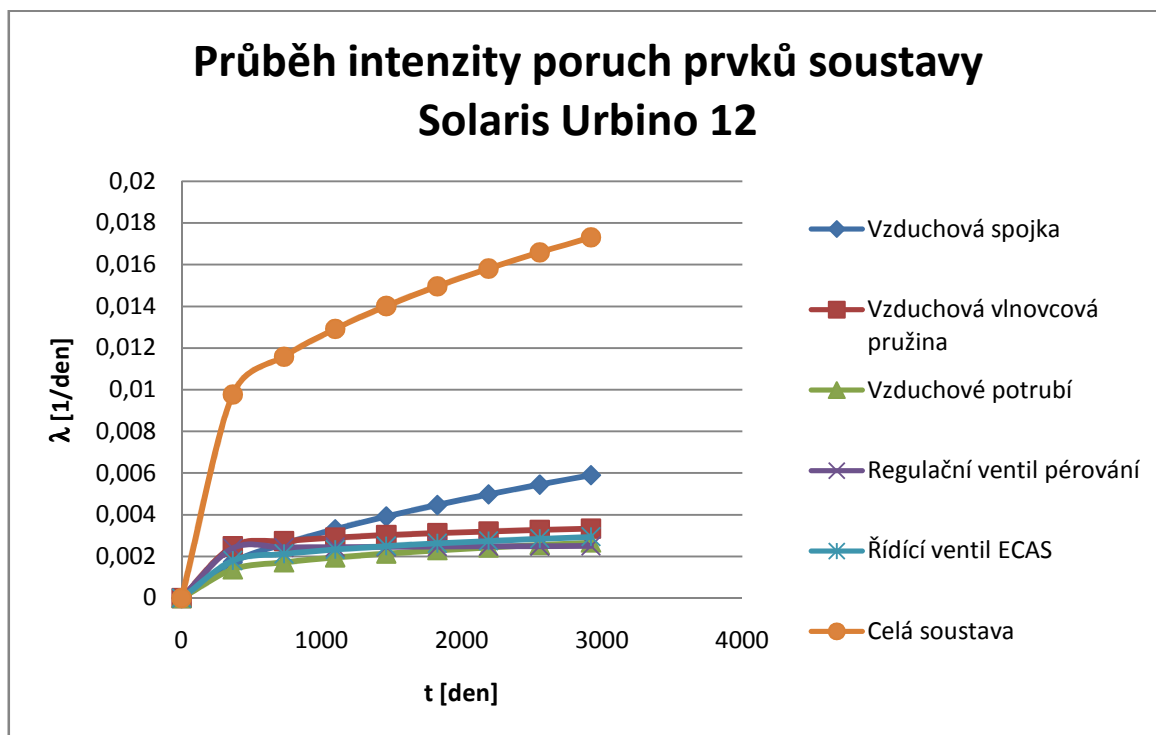
$$T_{Scelk} = \frac{653,33 + 447,224 + 757,9 + 424,39 + 841,9}{5} = 624,94 \text{ dní}$$



Obr. č. 4.7 Střední doby mezi poruchami jednotlivých prvků a celé vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12.

4.2.4 Výpočet intenzity poruch λ

Intenzita poruch jednotlivých prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12 byla vypočítána stejným způsobem jako u vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952.



Obr. č. 4.8: Průběh intenzity poruch prvků vzduchové pružicí soustavy autobusu Solaris Urbino 12.

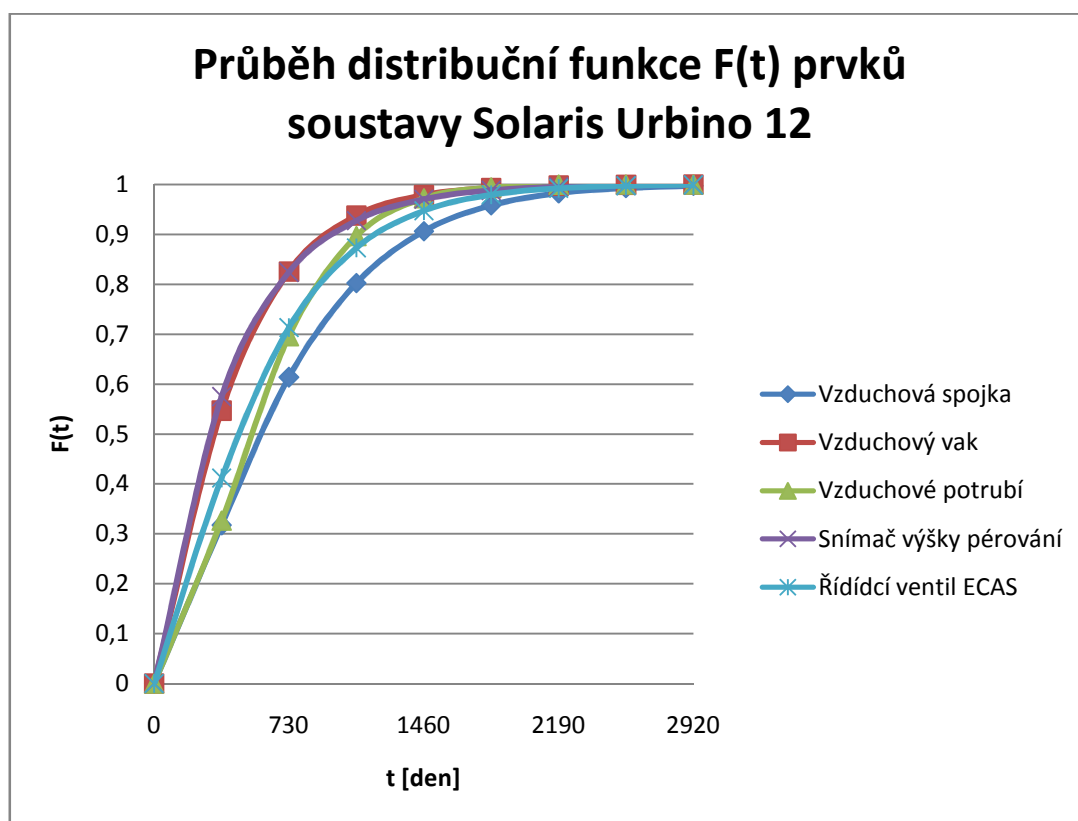
Data potřebná pro sestavení grafu průběhu intenzit poruch jsou uvedeny v příloze H.

4.2.5 Výpočet distribuční funkce $F(t)$

Distribuční funkce jednotlivých prvků vzduchové pružicí soustavy autobusu Solaris Urbino 12 byla vypočítána stejným způsobem jako u vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952.

Tab. č. 4.15: Výsledky výpočtů distribuční funkce $F(t)$ pro prvky vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12

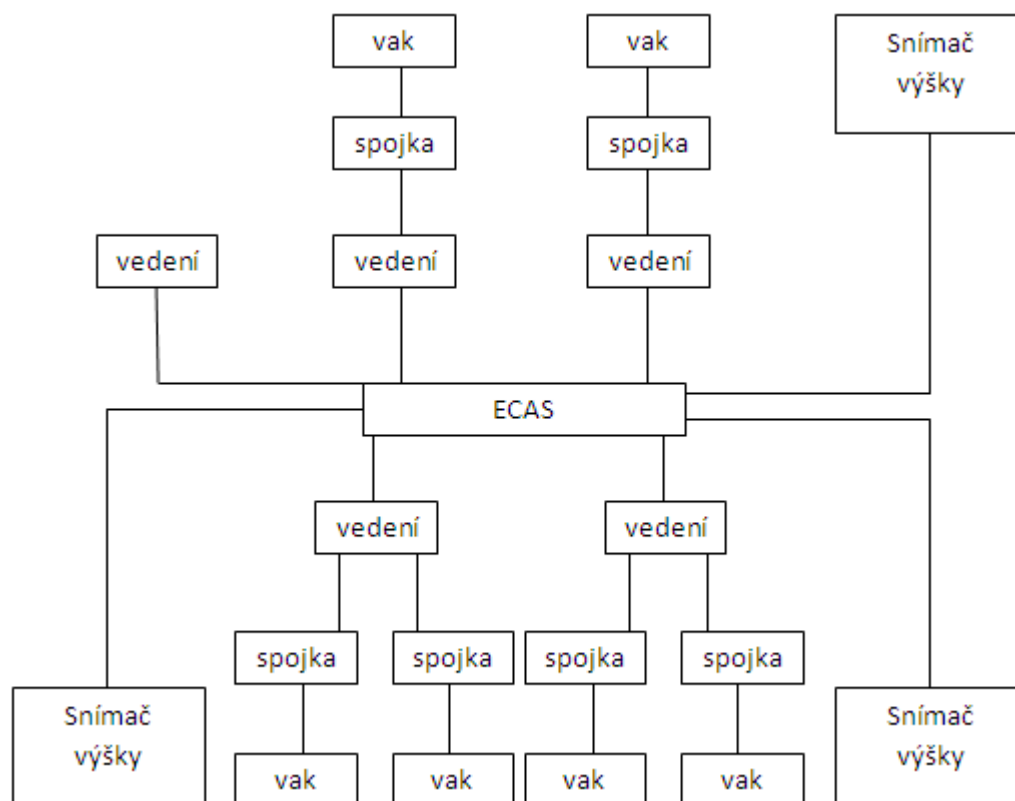
prvek	t [den]								
	0	365	730	1095	1460	1825	2190	2555	2920
Vzduchová spojka	0	0,31716	0,61345	0,8024	0,90634	0,95829	0,98239	0,9929	0,997261
Vzduchový vak	0	0,54672	0,82556	0,9376	0,9788	0,99307	0,99781	0,9993	0,999797
Vzduchové potrubí	0	0,32653	0,69605	0,8967	0,97234	0,994	0,99893	0,9998	0,99998
Snímač výšky pérování	0	0,57494	0,8238	0,9277	0,9705	0,98802	0,99516	0,998	0,999215
Řídící ventil ECAS	0	0,41175	0,71344	0,8729	0,94734	0,97933	0,99224	0,9972	0,999026



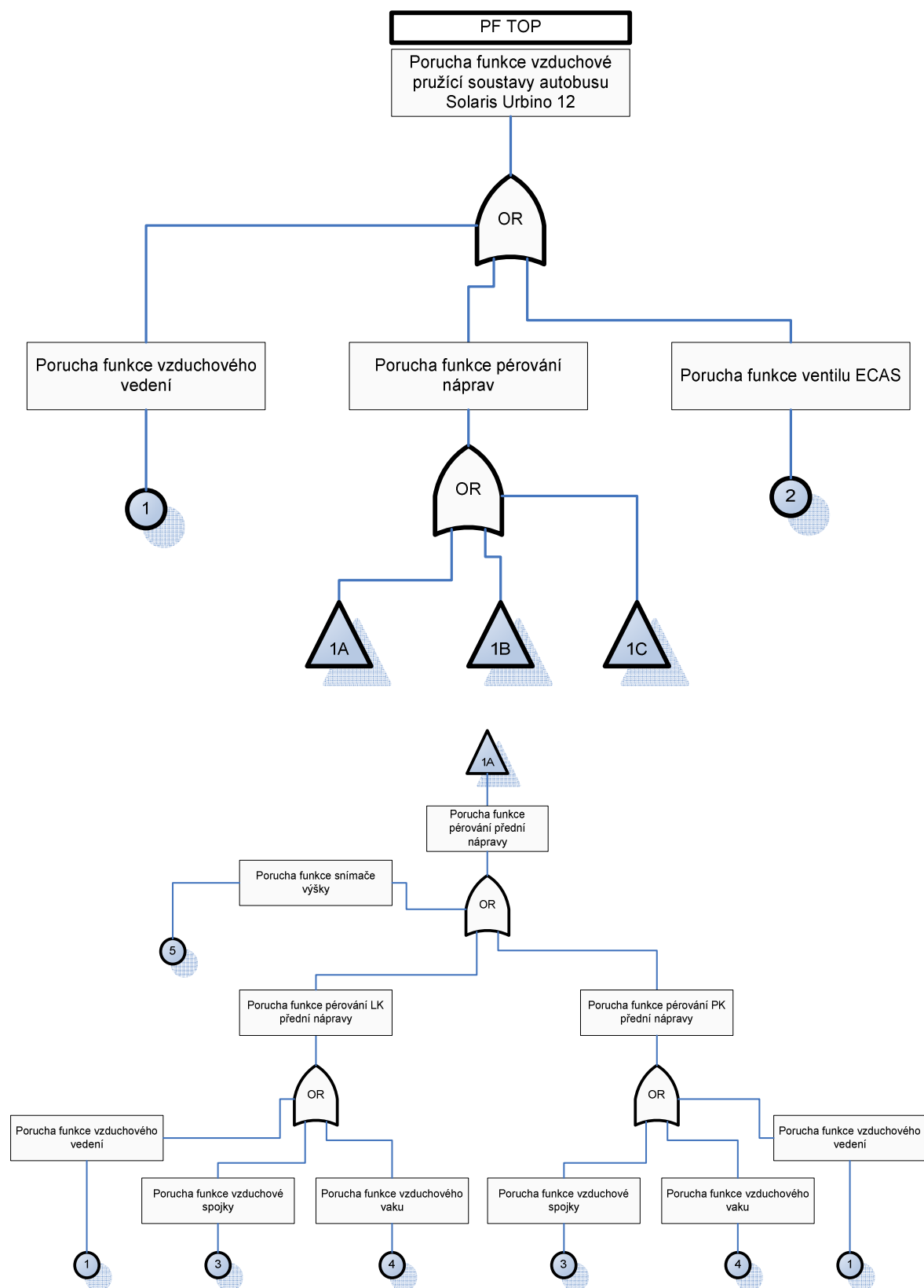
Obr. č. 4.9 Průběh distribuční funkce prvků soustavy Solaris Urbino 12.

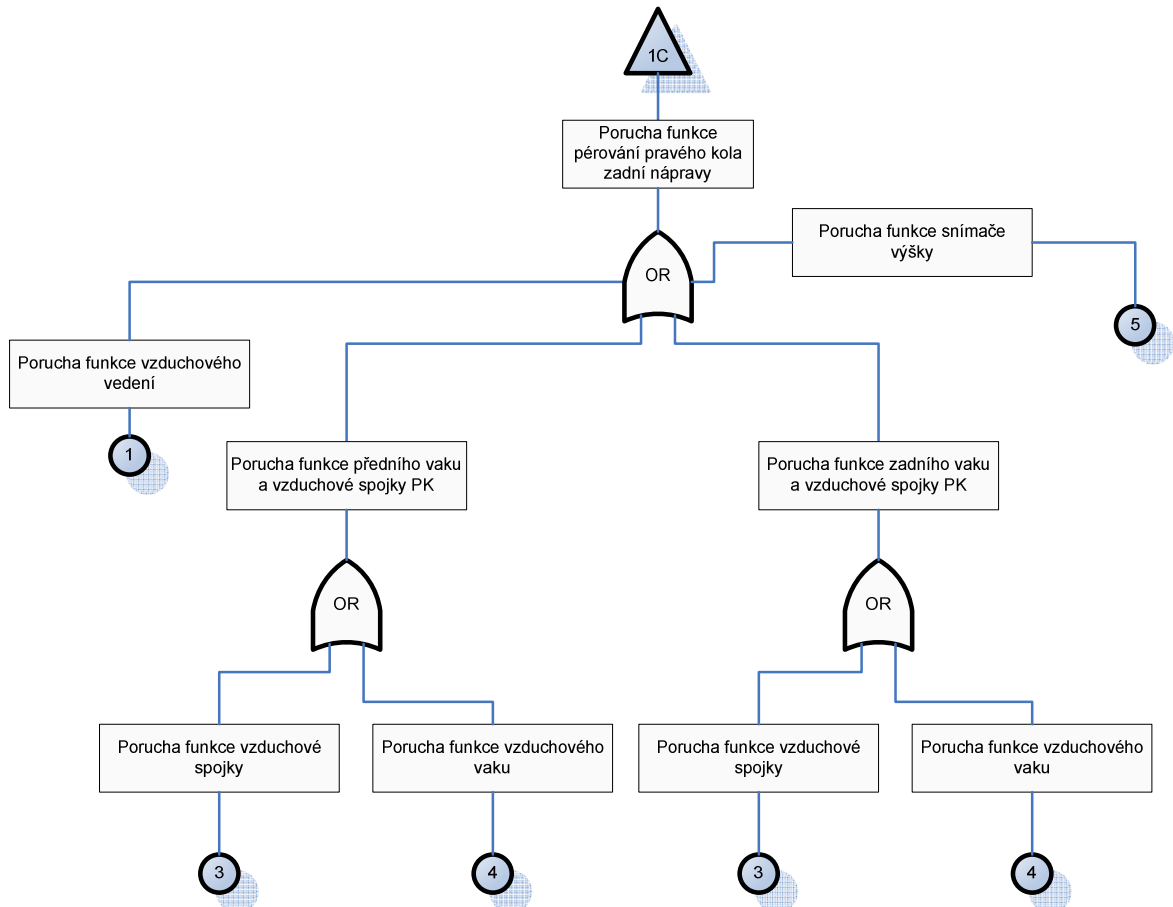
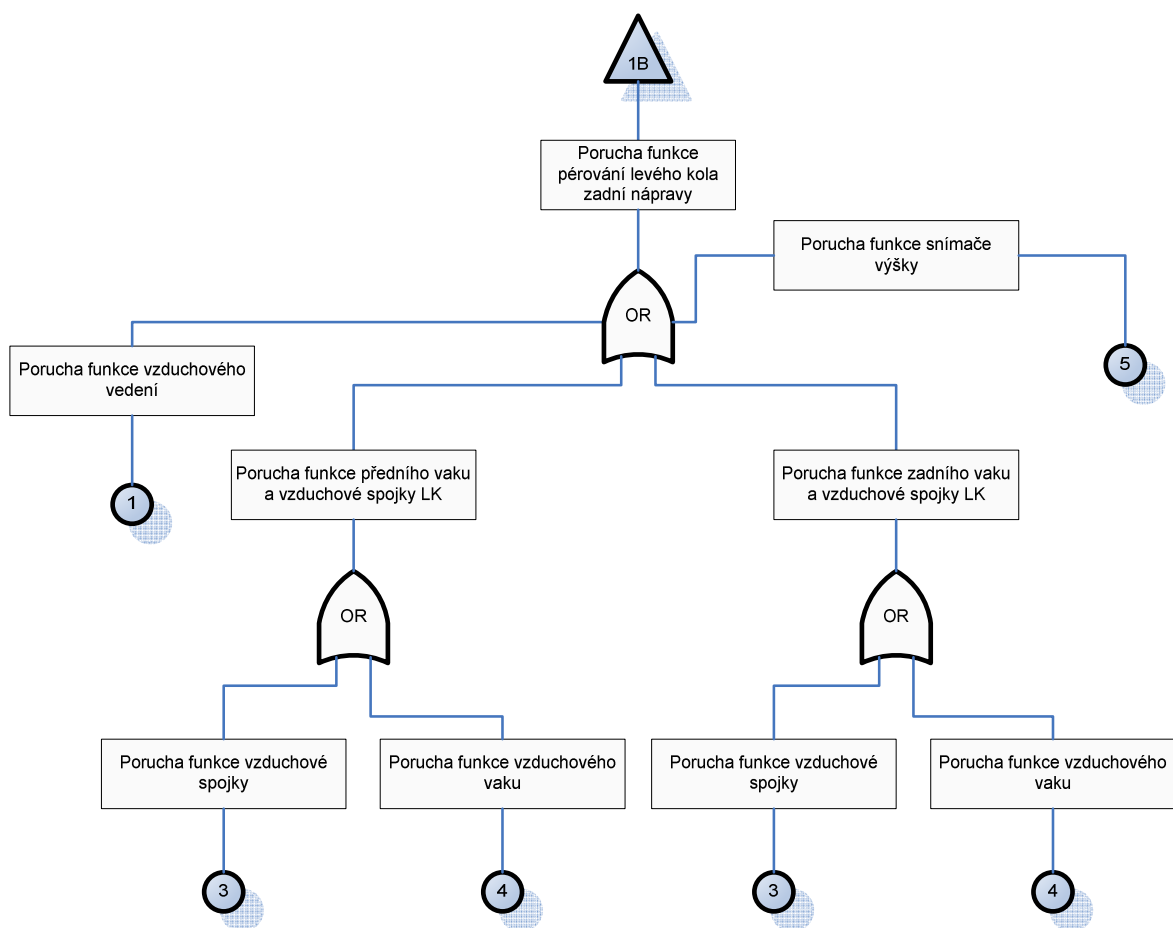
4.2.6 Analýza stromu poruchových stavů vzduchové pružicí soustavy autobusu Solaris Urbino 12

Konstrukční uspořádání systému



Strom poruch vzduchové pružicí soustavy autobusu Solaris Urbino 12



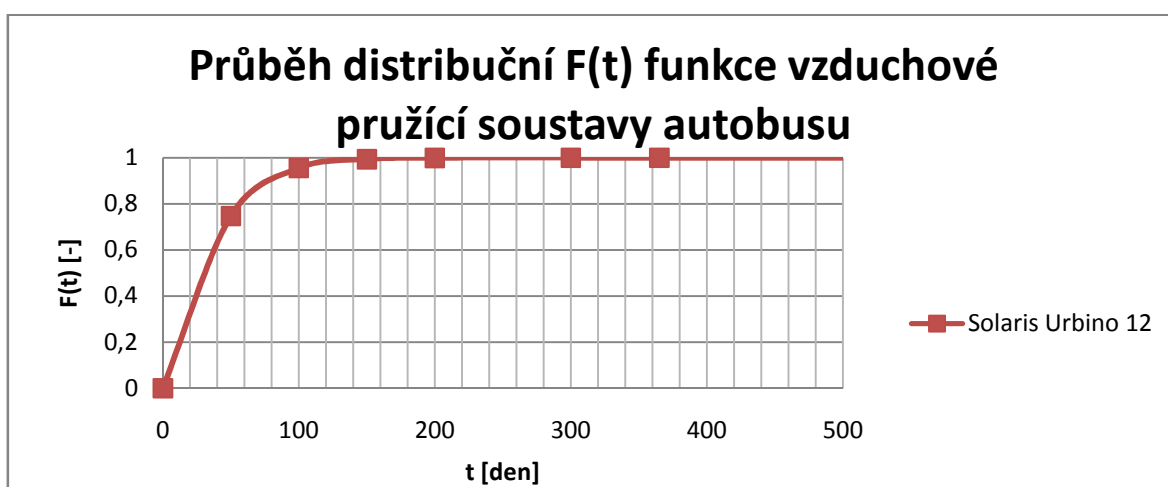


Vysvětlivky

- 1 – vzduchové vedení
- 2 – řídicí ventil ECAS
- 3 – vzduchová spojka
- 4 – vzduchový vak
- 5 – snímač výšky pérování
- 1A – porucha přední nápravy
- 1B – porucha zadní nápravy LK
- 1C – porucha zadní nápravy PK

Distribuční funkce vzduchové pružicí soustavy autobusu Solaris Urbino 12 byla vypočítána stejným způsobem jako u vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952.

Distribuční funkce $F(t)$ v čase $t = 365$ je rovna 1.



Obr. č. 4.10: Průběh distribuční funkce $F(t)$ vzduchové pružicí soustavy autobusu Solaris Urbino 12.

Hodnoty pro sestavení grafu jsou uvedeny v příloze CH.

4.2.7 Udržovatelnost

Protože k výpočtu střední doby údržby jednotlivých prvků vzduchové pružicí soustavy autobusu Solaris Urbino 12 nejsou známa potřebná data, byly tyto střední doby určeny odborným odhadem konzultanta. Do této doby je zahrnut čas potřebný k přistavení a odstavení vozidla, detekci závady a příprava potřebného nářadí a náhradních dílů na opravu.

Tab. č. 4.16: Střední doby údržby jednotlivých prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12

	$T_{s_{\text{údr}}}$ [h]
Vzduchová spojka	0,5
Vzduchový vak	1
Vzduchové potrubí	0,5
Snímač výšky pérování	1
Regulační ventil ECAS	1,5

Střední doba údržby se vypočítá jako průměr středních dob údržby jednotlivých prvků soustavy.

$$T_{s_{\text{údr}}} = \frac{0,5 + 1 + 0,5 + 1 + 1,5}{5} = 0,9 \text{ hod} = 0,0375 \text{ dní}$$

4.2.8 Logistické zpoždění

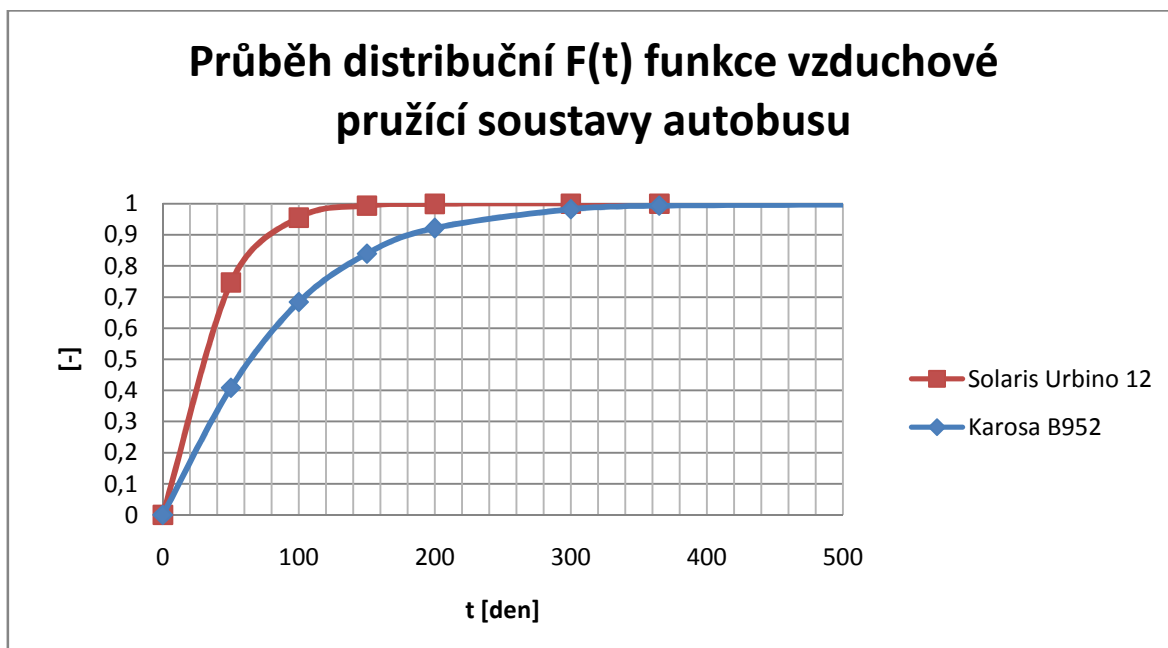
Dle konzultanta bývají všechny náhradní díly pro vzduchovou pružící soustavu autobusu Solaris Urbino 12 na skladě, to znamená, že u vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12 nevzniká logistické zpoždění, které by ovlivnilo dobu údržby systému.

4.2.9 Pohotovost

Výpočet pohotovosti vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12.

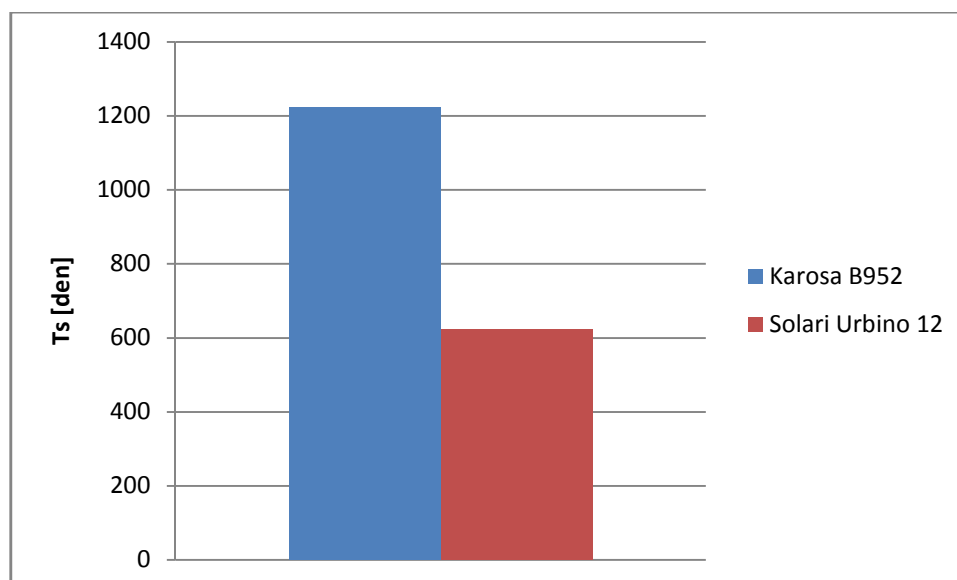
$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{623,72}{623,72 + 0,0375} = 0,99994$$

5. Technicko – ekonomické zhodnocení



Obr. 5.1 Průběh distribuční funkce vzduchové pružící soustavy autobusů

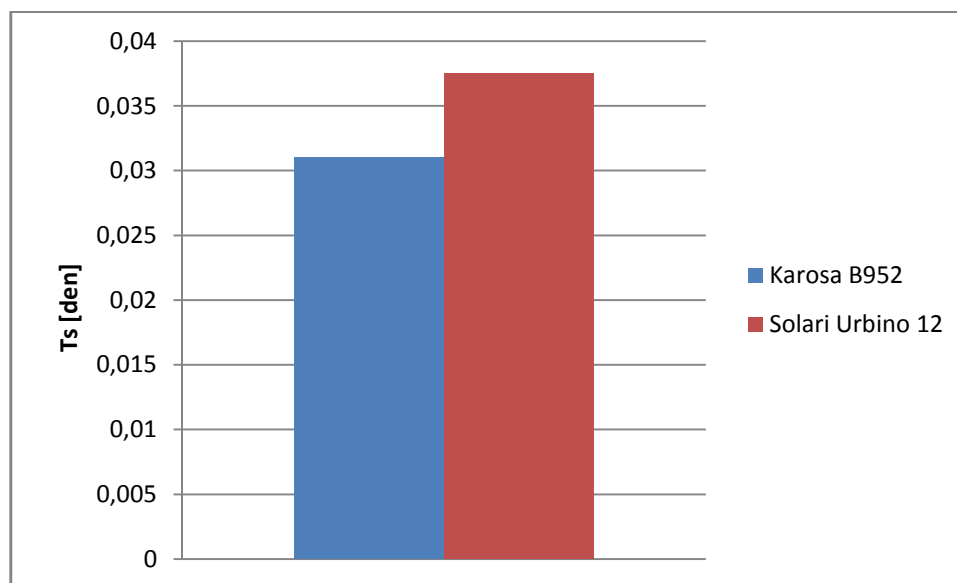
Z obrázku 5.1 je patrné, že ve stejném čase provozu dojde u vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12 k poruše z větší pravděpodobností, než u vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952.



Obr. 5.2 Střední hodnoty doby mezi poruchami autobusů

Z obrázku 5.2 je zřejmé, že střední doba mezi poruchami vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952 je rovna 1224,1dny, má tedy vyšší střední dobu mezi poruchami než

vzduchová pružicí soustava autobusu Solaris Urbino 12 u které je střední doba mezi poruchami rovna 624,9 dní.



Obr. č. 5.3 Střední hodnoty udržovatelnosti vzduchové pružicí soustavy autobusů

Z obrázku 5.3 je patrné, že střední doba údržby vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952 je rovna 0,031 dní, má tedy nižší střední dobu údržby oproti vzduchové pružicí soustavě autobusu Solaris Urbino 12 u které je střední doba údržby rovna 0,0375 dní.

Tab č. 5.1 Součinitel pohotovosti vzduchové pružicí soustavy autobusů

soustava	A [-]
Karosa B952	0,99997
Solaris Urbino 12	0,99994

Z tabulky 5.1 je zřejmé, že vzduchová pružicí soustava autobusu Karosa B952 má vyšší součinitel pohotovosti.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že vzduchová pružicí soustava autobusu Karosa B952 je ve všech zjištěných charakteristikách spolehlivosti lepší. Lze tedy předpokládat, že vzduchová pružicí soustava autobusu Karosa B952 je z hlediska času a počtu údržbových zásahů méně náročná, než vzduchová pružicí soustava autobusu Solaris Urbino 12. Toto může být přikládáno nižšímu počtu tvořících prvků vzduchové pružicí soustavy autobusu Karosa B952 a větším zkušenostem v konstrukci autobusů.

Seznam použité literatury

- [1] Famfulík, J., Míková, J., Krzyžánek, R.: Teorie údržby, Ostrava 2007, ISBN 978-80-248-1509-1.
- [2] Holub, R., Vintr, Z.: Spolehlivost letadlové techniky [online], VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Brno 2001. Dostupné z: <http://lu.fme.vutbr.cz/files/SpolehlivostLetadloveTechniky.pdf>
- [3] Famfulík, J., Krzyžánek, R., Galvas, P., Zkoušky spolehlivosti - vybrané stochastické metody [online]. VŠB-TU Ostrava, 2009, 69 s. Dostupné z: <http://vyuka.fs.vsb.cz/mod/resource/view.php?id=5404>
- [4] Fuchs, P.: Využití spolehlivosti v provozní praxi [online], Liberec, Dostupné z: http://www.rss.tul.cz/download/sez/fuchs_spolehlivost_skripta.pdf
- [5] <http://www.dpo.cz>
- [6] firemní literatura
- [7] <http://homel.vsb.cz/~krz011/>
- [8] <http://mi21.vsb.cz/flash-animace/kolmogorovuv-smirnovuv-test-reseny-priklad>

Seznam příloh

Příloha A - data potřebná k určení parametrů $W2p$ rozdělení prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952.

Příloha B – grafy lineární regrese prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952.

Příloha C – data potřebná k vyhodnocení Kolmogorov – Smirnovova testu pro prvky autobusu Karosa B 952.

Příloha D – data potřebná k sestavení průběhu distribuční funkce vzduchové pružící soustavy autobusu Karosa B952.

Příloha E – data potřebná k určení parametrů $W2p$ rozdělení prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12.

Příloha F – grafy lineární regrese prvků vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12.

Příloha G – data potřebná k vyhodnocení Kolmogorov – Smirnovova testu pro prvky autobusu Solaris Urbino 12.

Příloha H – data potřebná k sestavení průběhu intenzity poruch vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12.

Příloha CH – data potřebná k sestavení průběhu distribuční funkce vzduchové pružící soustavy autobusu Solaris Urbino 12.